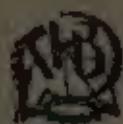


ЗА РАБОЧИМ СТАНКОМ

ИЗДАНИЕ И. В. МАНДЕЛЬШТАМ

БОЛЕЗНИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН



А. ХИЖИНСКИЙ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

1929

ЗА РАБОЧИМ СТАНКОМ

И. Б. МАНДЕЛЬШТАМ

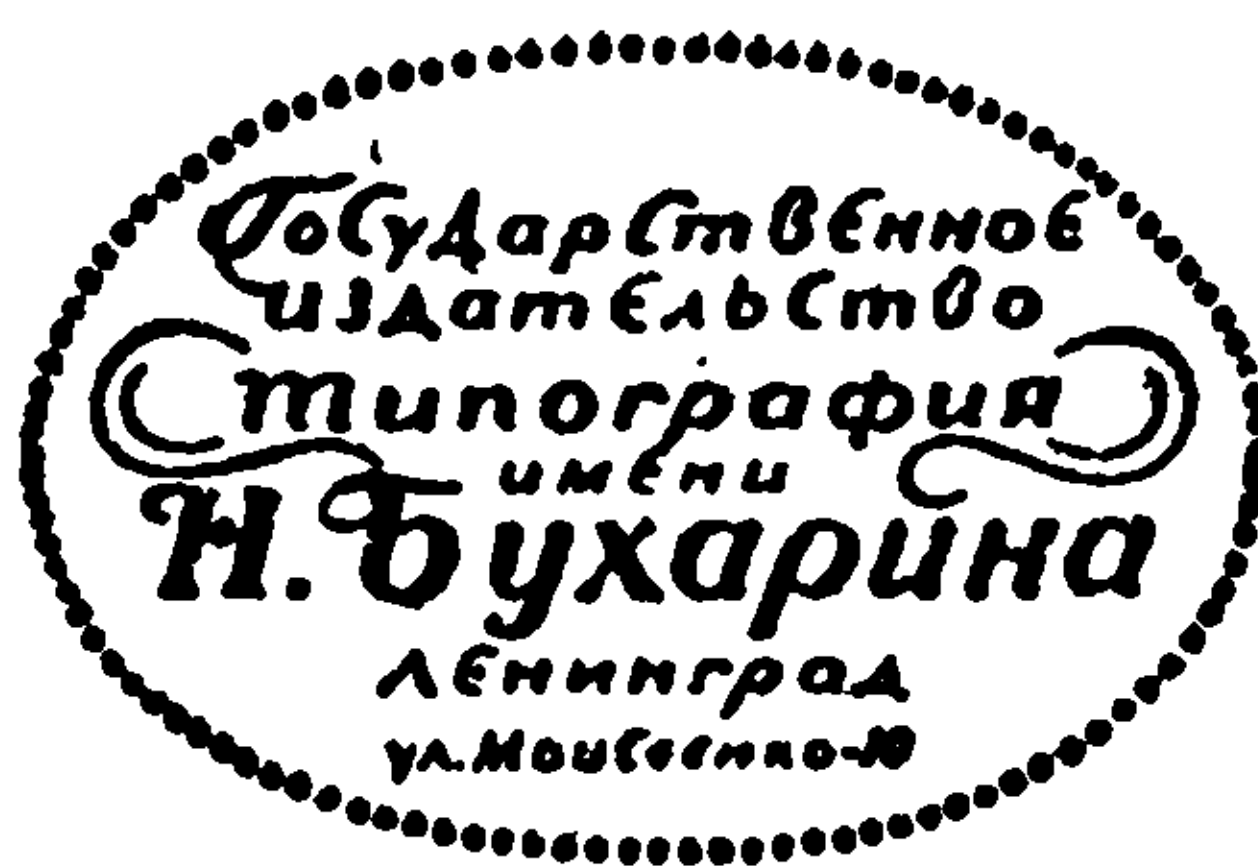
ИНЖ -ЭЛЕКТРИК

БОЛЕЗНИ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

С 36 РИСУНКАМИ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1929 ЛЕНИНГРАД



82X1 1—2 л. Н. 91. Гиз № 28942/Л.
Ленинградский Областлит № 20888..
Тираж 5000.

ВВЕДЕНИЕ

Всякий, кому поручен уход за электрической машиной, должен знать, каким она подвержена расстройствам, и приготовиться к ее лечению.

Помочь ему в этом — назначение предлагаемой книги. Но это не справочник. Если читатель впервые откроет ее тогда лишь, когда порученная ему машина уже пришла в неисправность, и понадеется быстро получить справку о том, что с нею произошло и как ее привести в порядок, то весьма вероятно, что он останется неудовлетворен.

Но это — к лучшему. В несколько минут стать лекарем нельзя. Несведущему человеку лучше вообще не браться за лечение. Лекарство, которое он пропишет, может оказаться хуже болезни.

Два условия должны быть соблюдены каждым, кто хочет стать „сведущим лекарем“.

Прежде всего, совершенно очевидно, что надо знать, как устроена и как действует машина, чтобы разбираться в причинах ее расстройства или бездействия. Такое знакомство с электрическими машинами, хотя бы поверхностное, мы вынуждены предполагать у читателя. Правда, обо всем, что нужно знать про здоровое состояние машины для понимания ее неисправного состояния, книга эта напоминает читателю, но все же она нисколько не заменяет собою книжек, в

которых изложены основные законы электротехники, а также устройство и действие динамомашин и электродвигателей.

Во вторых, необходимо умение из признаков неисправного состояния электрической машины выводить заключения об его причинах. Этому-то умению преимущественно учит настоящее руководство. В нем не исчерпаны, да и не могли быть исчерпаны все возможные неполадки, и оно говорит только о наиболее частых болезнях. И не о всех электрических машинах в этой книге речь, а только о наиболее распространенных. Но внимательный ее читатель усвоит себе правильный путь распознавания неисправностей, привыкнет двигаться самостоятельно по этому пути, и тогда едва ли будет поставлен втупик какою-нибудь болезнью, если встретится с нею на практике, пусть бы даже о ней не нашлось в этой книге сведений.

Болезни, лечение машин это — слова из врачебной науки, это — сравнение неисправного механизма с больным организмом. И надо заметить, что это — правильное и поучительное сравнение. В самом деле, приемы распознавания болезней у человека и неисправностей у машины одинаковы по своей сущности.

Пусть, например, мы замечаем жар, чрезмерное нагревание у человека или у динамомашины. Значит, человек болен, машина неисправна. Но что именно испортилось в организме или механизме, этого мы еще не знаем, потому что таких общих признаков болезненного состояния, как жар, очень мало, а болезней, вызывающих жар, очень много. У целого ряда болезней есть общие признаки; поэтому и полезно подразделить болезни по общим признакам на основные классы. Так это и сделано в нашем оглавлении. Тогда, наблюдая какой-нибудь признак (симптом, как говорят врачи), мы знаем, по крайней мере, в пределах какого класса, то есть среди каких болезней нужно нам искать расстройство, которое действительно постигло нашу машину.

Если нам затем удастся, наблюдая ее или исследуя, подметить еще какой-нибудь признак, например, кроме искробразования на коллекторе—пятна на нем, то число болезней, среди которых приходится искать данную болезнь, снова сокращается. И если мы знаем, какого вида пятна отличают каждую из этих немногих болезней, то сразу скажем, например: «это слабина винтов у коллектора».

Эта книжка в каждом из своих четырех разделов сперва описывает неисправности, которые могут постигнуть машину того или иного рода, и выясняет их происхождение; затем учит читателя распознавать неисправности посредством наблюдения и исследования и, в заключение, говорит о способах их устранения.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ОПИСАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

1. Искрение щеток.

Искрением щеток сопровождается большинство неисправностей в машинах постоянного тока. Поэтому сам по себе этот несомненный признак какого-то расстройства в машине так же мало говорит электротехнику, как жар у больного говорит врачу. Но стоит нам вдуматься в это явление, спросить себя, что такое электрическая искра, чтобы ответ на этот вопрос указал нам два рода неисправностей, способных вызывать искрение.

Электрическая искра, это — переход электрического тока через воздушный промежуток между проводниками. Чем слабее ток и чем меньше воздушный промежуток, тем слабее и незаметнее искра. Электрическая машина строится так, чтобы при ее исправном состоянии и правильной работе заметного искрения не происходило, потому что это далеко не безобидное явление: искры обжигают медь коллектора и постепенно разрушают его, да и щетки от искр быстро сгорают. Следовательно, если искры под щеткой все-таки замечаются, то либо воздушный промежуток между коллектором и щеткой, либо сила тока стали больше, чем им следует быть.

Таким образом все неисправности, вызывающие искрение, можно свести к двум группам: а) увеличение воздушного промежутка, то есть ослабление „контакта“ (соприкосновения) между щеткою и пластинами коллектора и б) усиление тока, проходящего через щетку.

Неисправности, вызывающие искрение вследствие ослабления контакта.

Когда щетка так плотно прилегает к коллектору, что ее поверхность в каждой своей точке соприкасается с какой-нибудь точкой на поверхности коллектора, иными словами, когда контакт между ними равномерен и совершенен, то воздушного промежутка между ними как бы и вовсе нет.

Но для этого нужно, прежде всего, чтобы обе поверхности имели не только совершенно одинаковую кривизну, но и были совершенно гладки. Вот почему каждую угольную щетку тщательно пришлифовывают к коллектору, а коллектор обтачивают, шлифуют и полируют так, чтобы он был гладок как зеркало.

Но этого мало. Ведь коллектор все время вращается под щетками. Надо добиться того, чтобы не только при неподвижном коллекторе, но и при его вращении контакт со щеткою ни в одной точке не прерывался и не ослабевал. Достаточно малейшего загрязнения, засорения коллектора, достаточно малейшего дрожания всей машины или какой-нибудь части ее, чтобы щетка начала подпрыгивать на коллекторе, а тогда между ними возникают маленькие воздушные промежутки и в этих промежутках—искорки.

Наконец, необходимо, чтобы коллектор был совершенно круглым и был в совершенстве „центрирован“, то есть чтобы его ось совпадала с осью машины и щеточного ярма. Иначе коллектор при вращении „бьет“, прижимается к щетке од-

ними своими пластинами сильнее, другими слабее, а тогда щетка опять-таки подпрыгивает и искрит.

Если таковы условия хорошего контакта, то нам легко перечислить нарушения этих условий.

1. Трущаяся поверхность щеток находится в неудовлетворительном состоянии. Например, у медных щеток она загрязнена, обожжена, зазубрилась; у щеток угольных — изборождена желобками, куда набилась медная пыль, обломана по краям или плохо пришлифована.

2. Трущаяся поверхность коллектора находится в неудовлетворительном состоянии, например: а) шерховата (исцарапана ребрами щеток, обожжена искрами), б) волниста (прорыта желобками под щетками), в) над медными пластинами коллектора выступают края слюдяных прокладок, которыми они разобщены.

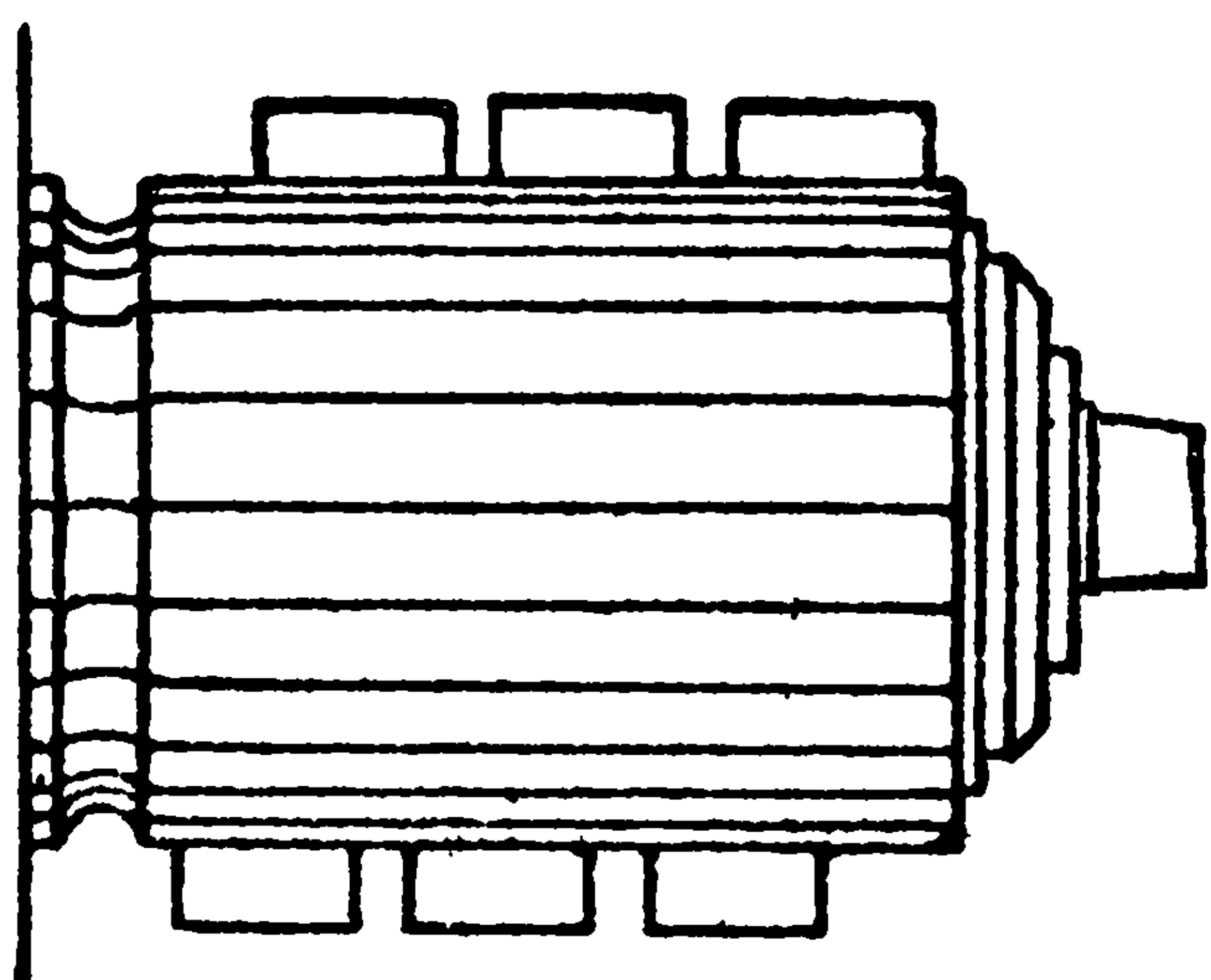


Рис 1. Правильное размещение щеток.

Чтобы не возникла неисправность 2б, коллектор должен при вращении прижиматься к щеткам отдельных щеточных болтов не одними и теми же местами, а чередующимися; тогда щетки будут истирать его по всей ширине, равномерно, и кольцевых углублений в них не образуется. По-

этому отдельные ряды щеток должны быть расположены „в разбежку“, то есть каждый из них должен быть по ширине коллектора смещен относительно соседних, как на рис 1.

Неисправность 2в возникает в том случае, когда медь коллектора мягче слюды и поэтому срабатывается быстрее, чем слюда. Как бы мало слюдяные прокладки ни выступали над медными пластинами, хотя бы это было совсем неза-

метно на глаз или на ощупь, щетки начинают подпрыгивать и искрить.

3. Трущаяся поверхность коллектора загрязнена или засорена. а) Загрязнить ее могут прежде всего угольные щетки, когда они слишком мягки, потому что они крошатся и покрывают коллектор липкою угольной пылью; б) загрязняется также коллектор излишнею смазкою, — применяемое для смазки вещество (масло, парафин, вазелин и т. п.) постепенно образует изолирующий слой, пробиваемый искрами; в) при недостаточном уходе коллектор постепенно засоряется медною, угольной и другою пылью; г) когда помещение содержит кислотные пары или газы (например, газогенераторная электростанция), то медные пластины коллектора химически разлагаются, и он покрывается слоем окиси, даже если машина не работает.

4. Щетки слишком слабо прилегают к коллектору, оттого что не подтянуты нажимные пружины.

5. Коллектор дрожит а) заодно с машиною или б) потому что расшатан сам. Связь между его пластинами может постепенно ослабеть, потому что расшатываются винты зажимного кольца или потому что размягчается изолирующий материал между пластинами и втулкою коллектора. Тогда тоже выступает изоляция между пластинами, как при неисправности 2в.

6. Щетки дрожат а) заодно с машиною или б) с какой-нибудь частью щеточного аппарата. Расшататься может все щеточное ярмо, один из его болтов, щеткодержатель на болте, щеточный зажим в щеткодержателе, да и сама щетка в зажиме.

7. Коллектор „бьет“ а) заодно с якорем и валом или б) сам по себе.

Заодно с якорем коллектор бьет, когда сработались подшипниковые вкладыши или когда осела подшипниковая стойка, расположенная не на общей фундаментной плите с машиною.

Причинами неисправности 7б могут быть расшатанность коллектора (см. 5б), неравномерный износ коллекторных пластин, когда они различной твердости, и неправильное центрирование коллектора при его сборке.

Неисправности, вызывающие искрение
вследствие усиления тока.

Рассмотрим теперь причины, по которым может усиливаться проходящий через щетку ток. Для этого мы снова должны представить себе физическую картину явлений и вспомнить, в состав каких электрических цепей входит каждая щетка.

Каждая пара щеток имеет, как известно, назначением соединять с внешнею цепью через чередующиеся пластины коллектора две или несколько параллельных цепей последовательно включенных проводников. В любой миг обмотку якоря можно представлять себе, как батарею из двух или нескольких параллельных рядов последовательно включенных гальванических элементов. Чередование коллекторных пластин под щетками как бы переводит по одному элементу каждого ряда поочередно в другой, параллельный первому, ряд, изменяя в то же время направление тока в переводимом элементе.

Прежде всего обратим внимание на это чередование пластин. Когда при вращении якоря и коллектора из-под щетки выходит одна пластина, и на смену ей под щетку входит следующая, то на короткое мгновение щетка замыкает накоротко часть обмотки, подведенную к этим пластинам. Проводники, образующие эту замыкаемую накоротко часть обмотки, должны проходить в этот миг через так называемую нейтральную зону, то есть через такое место между полюсами, где бы они не пересекали силовых линий, а лишь скользили вдоль них. Только тогда в короткозамкнутой цепи не возникнет по индукции электродвижущая сила и не по-

родит сильного тока (сильного потому, что сопротивление слабо).

Однако нейтральная зона не занимает постоянного места. Она смещается в зависимости от нагрузки машины. Пока

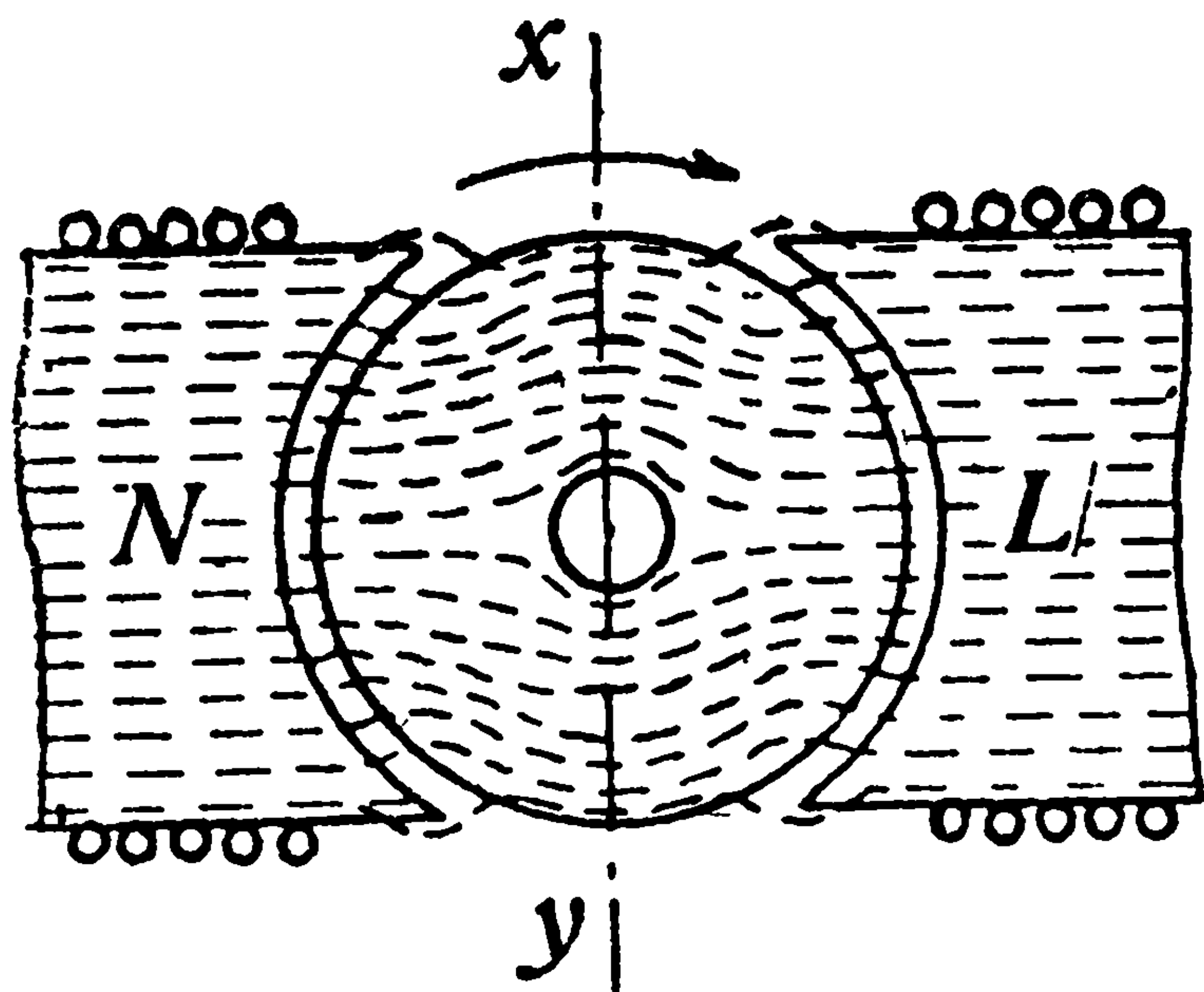


Рис 2. Поле холостого хода

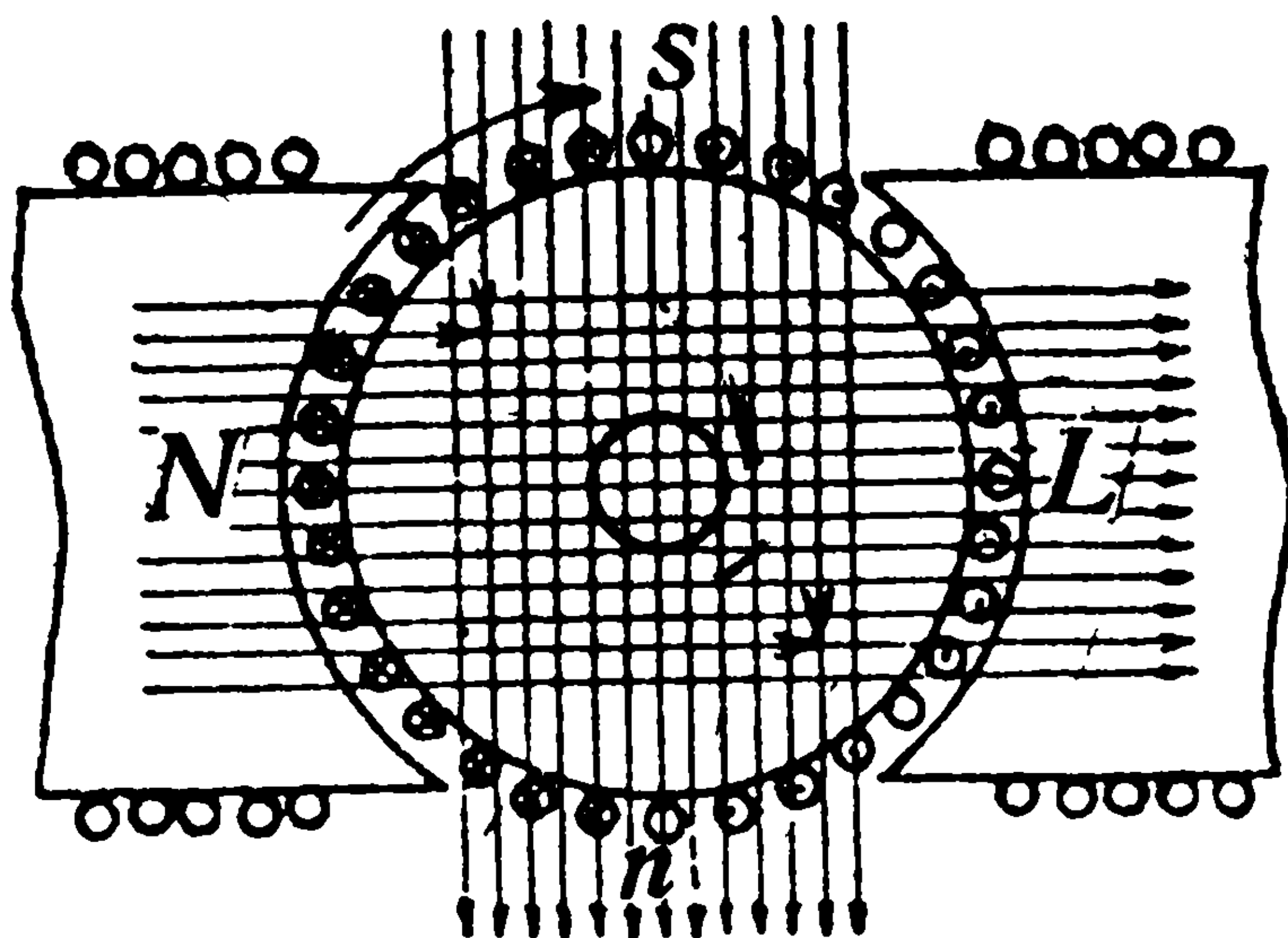


Рис. 3. Продольное главное поле и поперечное поле якоря.

машина работает в холостую, в ней действуют силовые линии одного только главного магнитного поля, создаваемого магнитными полюсами (рис. 2). Но как только машина нагру-

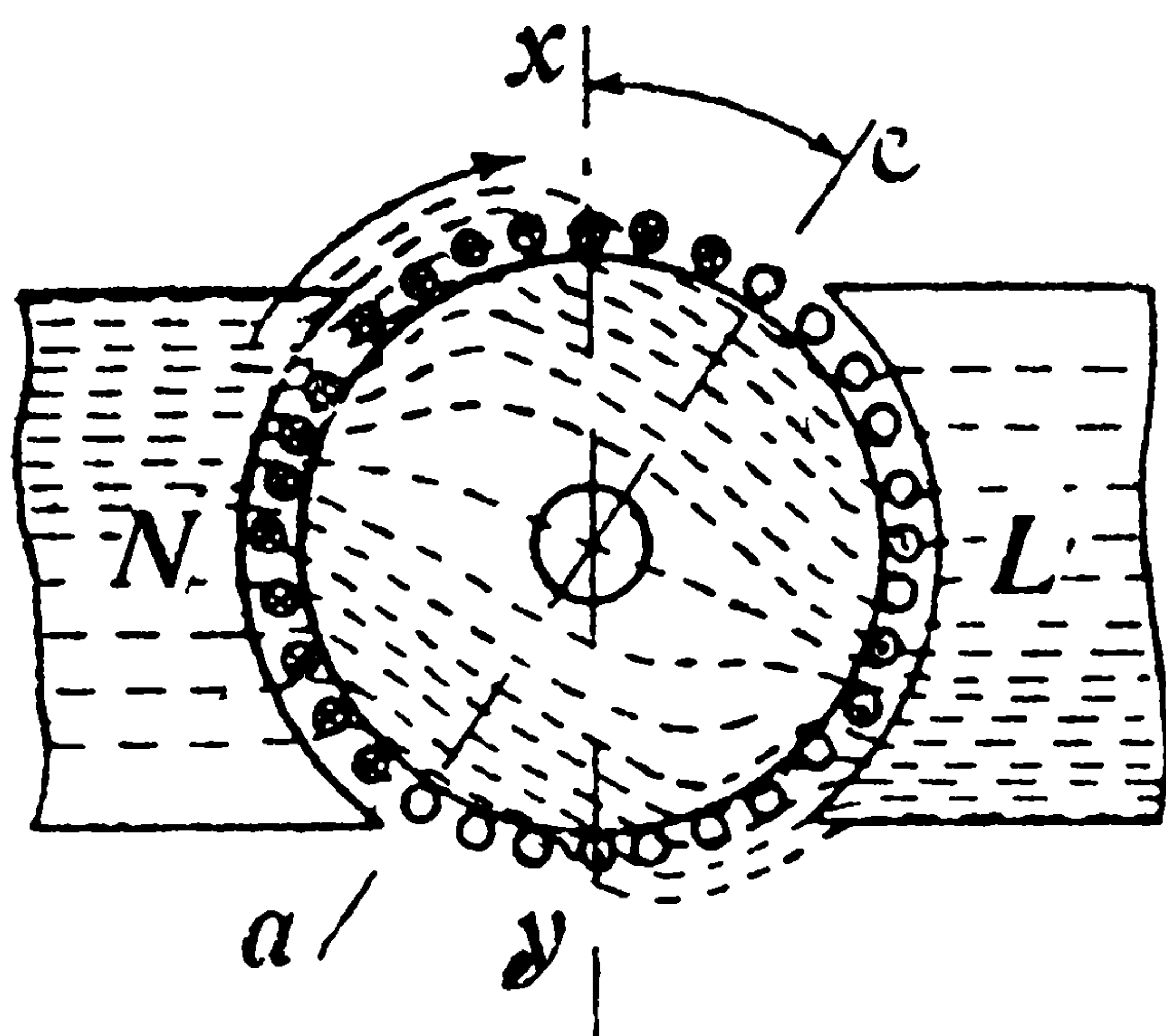


Рис. 4. Общее поле.

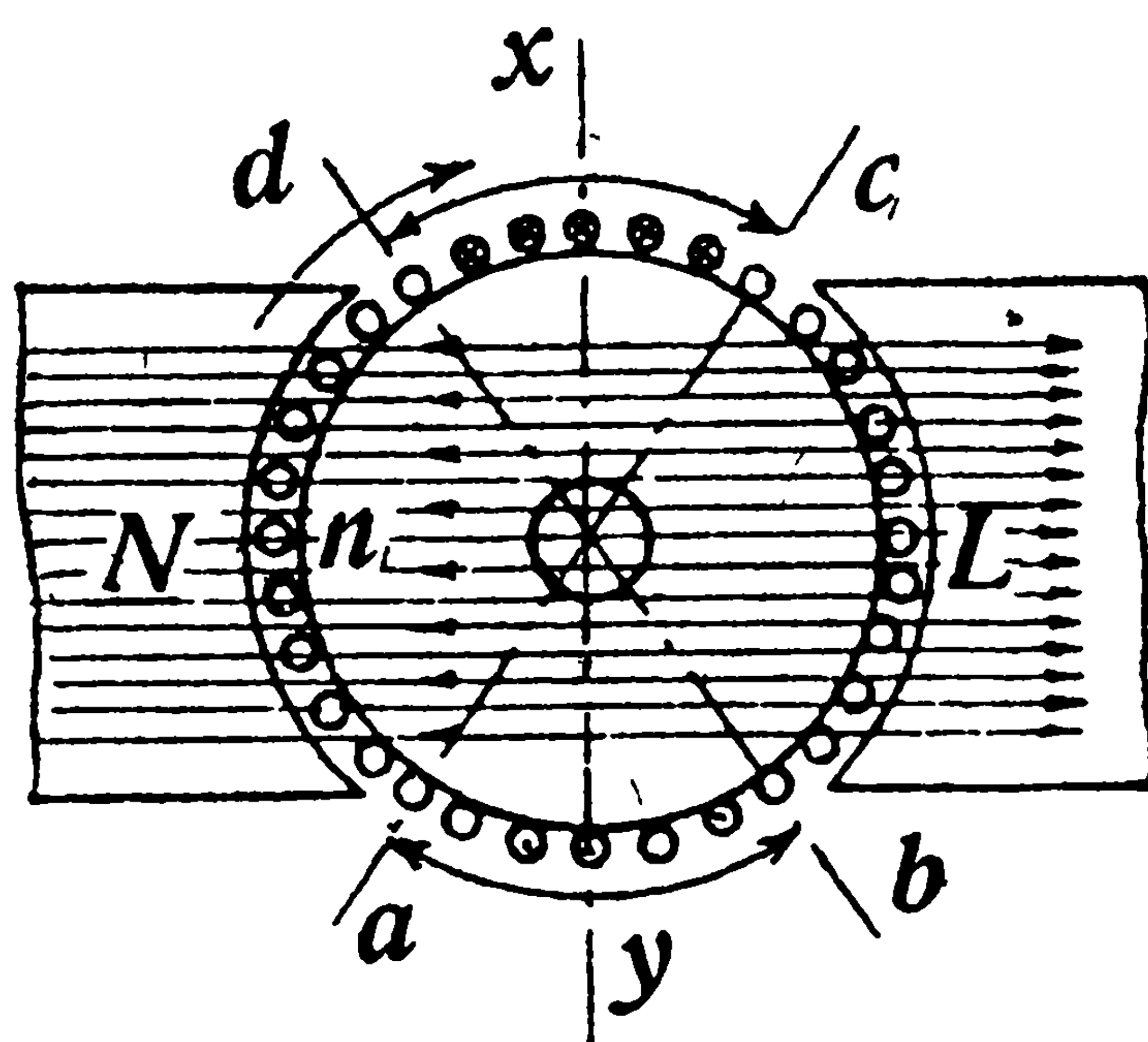


Рис. 5 Продольное главное поле и продольное поле якоря.

жается и ток начинает проходить по якорной обмотке, к полю полюсов NS присоединяется поперечное поле якоря ns (рис. 3). Оба они складываются в общее поле, представлен-

ное на рис 4, и тогда нейтральная зона смещается из xu в ca . Если мы передвинем щетки на такой же угол xs , ay , то по всем проводникам, находящимся в двойном углу dc , ab ток будет проходить в таком направлении, что начнет создавать продольное поле якоря (рис. 5), противоположное главному и ослабляющее его. Тем не менее, их необходимо передвинуть, иначе, находясь уже не в нейтральной зоне, они бы недопустимо искрили. Мало того, если их передвинуть только на угол xs , ay , то и в этом случае в короткозамкнутых проводниках возникала бы электродвижущая сила, правда, уже не вследствие индукции, а

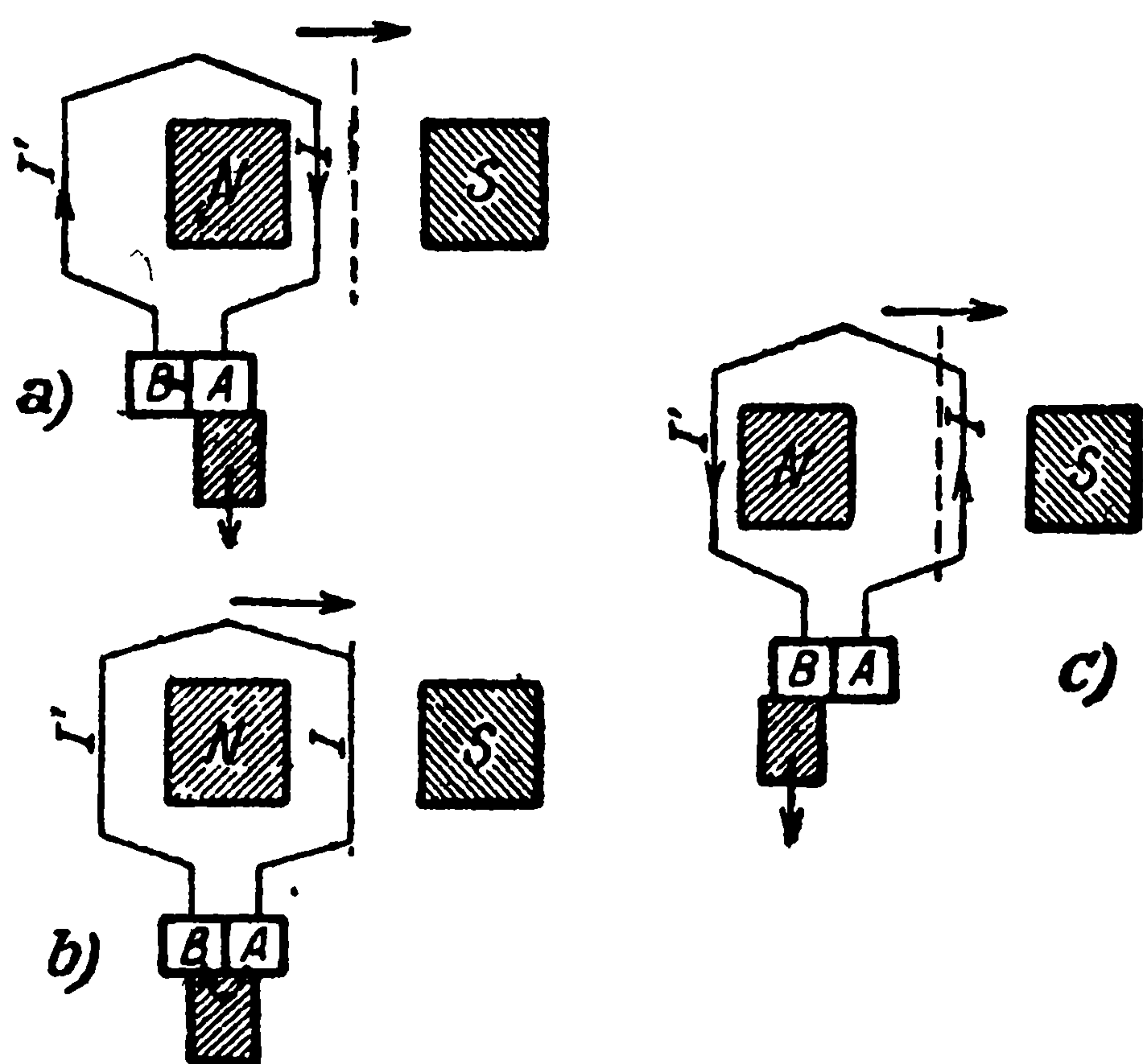


Рис 6. Катушка якорной обмотки в трех последовательных положениях.

по другой причине, — вследствие так называемой самоиндукции.

В самом деле, в тот миг, когда эти проводники, находящиеся в нейтральной зоне, замыкаются щеткою накоротко перед тем, как войти в состав другой параллельной цепи последовательно соединенных проводников, направление тока в них

должно измениться. Как это происходит, — это видно из рис. 6 *a*, *b* и *c*, где одна и та же катушка якорной обмотки представлена в трех последовательных положениях. Читатель должен ее представить себе движущуюся перед полюсами N и S вправо, тогда, под влиянием полюсов, в сторонах катушки I и I' , возникают токи в направлении стрелок (это направление легко установить по правилу правой руки), показанные на рис. 6 *a* и *c*. Мы видим, что напра-

вление тока на втором из этих рисунков противоположно его направлению на первом. Коммутация тока (изменение его направления) совершилась в промежуточное между этими двумя положениями время, когда щетка переходила с пластины *A* на пластину *B*. Но ток мог изменить свое направление, лишь сойдя предварительно на нуль, что и произошло в положении *b*. Таким образом, ток в катушке, а с ним вместе и число силовых линий пошли в это время на убыль, но это немедленно породило электродвижущую силу самоиндукции в том же направлении, какое показано стрелками на рис. 6 *a*. Эта последняя нашла перед собою короткозамкнутую цепь в тот миг, когда щетка соприкоснулась с обеими пластинами и должна была вызвать в ней сильный ток, который способен накаливать край щетки, покидающий пластину *A*, и оставить на пластине окалину.

Значит, сместить щетки настолько же, насколько сместилась нейтральная зона, — недостаточно для того, чтобы предотвратить искрение. Надо передвинуть их по коллектору еще на больший угол. Тогда короткозамыкаемые проводники будут рассекают силовые линии, исходящие из следующего полюса, и в них, при определенном положении щеток, будет возникать по индукции электродвижущая сила, направленная против электродвижущей силы самоиндукции, совершенно равная ей и поэтому ее уничтожающая. Только при этом условии ток в короткозамкнутых проводниках будет совершенно подавлен, и щетки не смогут искрить.

Но и при таком положении щеток искрение может опять возобновиться, если главное магнитное поле ослабевает, потому что нейтральная зона тогда опять передвинется. Ослабеть же оно может только при уменьшении возбуждающего магниты тока. Этот ток часто уменьшают умышленно: в динамомашине — когда она делает слишком большое число оборотов, потому что при прежней силе магнитного поля она бы давала слишком большое напряжение; в электродвига-

теле — когда от него нужно получить большее число оборотов, потому что в ослабленном магнитном поле он стремится вращаться быстрее, чтобы уравнивать свою противо-электро-движущую силу с приложенным к нему напряжением.

Искрение как следствие токов короткого замыкания.

Из сказанного выше ясно, что возможны следующие неисправности, вызывающие искрение, как следствие таков короткого замыкания:

8. Повышенная скорость машины.

9. Неправильное положение: а) всего щеточного ярма или б) отдельных щеток.

Далее обратим внимание на то, что щетки создают параллельное соединение двух (или нескольких) цепей последовательно соединенных проводников. Если бы в одной из этих цепей ток был сильнее, чем в другой, то часть более сильного тока, так называемый уравнительный ток, прошла бы в другую цепь через ту же щетку в поперечном направлении. Опять произошло бы усиление тока, проходящего через щетку, и возникло бы искрение. Но сила тока, как это известно из закона Ома, определяется электродвижущей силой и сопротивлением цепи. Значит, чтобы он был одинаково силен во всех параллельных цепях, необходимы два условия: у всех параллельных цепей одинаковы должны быть: а) сумма электродвижущих сил, возникающих вследствие индукции в последовательно включенных проводниках каждой цепи, и б) общее сопротивление.

Рассмотрим первое условие. Естественно, что оно может быть соблюдено только при полной равномерности магнитного поля. Иначе, при вращении якоря в этом поле, проводники одной из цепей в каждый миг рассекают больше силовых линий, чем проводники другой, так что у первых

сумма электродвижущих сил больше, чем у вторых. Для равномерности же магнитного поля необходимо, чтобы все его полюсы возбуждались одинаково сильно и чтобы по всей окружности якоря воздушный зазор между нею и окружностью полюсов, — так называемое междужелезное пространство, — оставался неизменен.

Что касается второго условия, то оно, очевидно, может быть нарушено местным усилением или ослаблением сопротивления где-нибудь в обмотке якоря.

Все эти соображения позволяют нам перечислить следующие неисправности, вызывающие искрение.

А. Искрение как следствие уравнивательных токов при неравномерности магнитного поля.

10. Якорь „бьет“ по тем же причинам, которые указаны относительно неисправности 7а.

11. Одна или несколько магнитных катушек целиком или отчасти замкнуты накоротко. Это может произойти как а) вследствие повреждения изоляции у магнитных катушек, так и б) вследствие ее влажности (накопившейся в сыром помещении или во время транспорта машины).

12. Магнитные катушки по ошибке неправильно включены, так что полюса неправильно чередуются. Тогда, конечно, магнитное поле не только ослаблено, но и искажено.

Б. Искрение как следствие уравнивательных токов при неодинаковости сопротивлений в параллельных цепях якорной обмотки.

13. Один или несколько витков якорной обмотки замкнуты накоротко. Такое замыкание может возникнуть различным образом. Это пояснено на

рис. 7, где представлены: коллектор с его медными пластинами (они зачернены), насаженными на железную втулку (она заштрихована) и отделенными друг от друга слюдяной изоляцией (белые промежутки), и якорная обмотка в виде ряда витков, присоединенных к пластинам коллектора. Пунктирными линиями показаны возможные прямые соединения: между двумя точками одного витка (1) или различ-

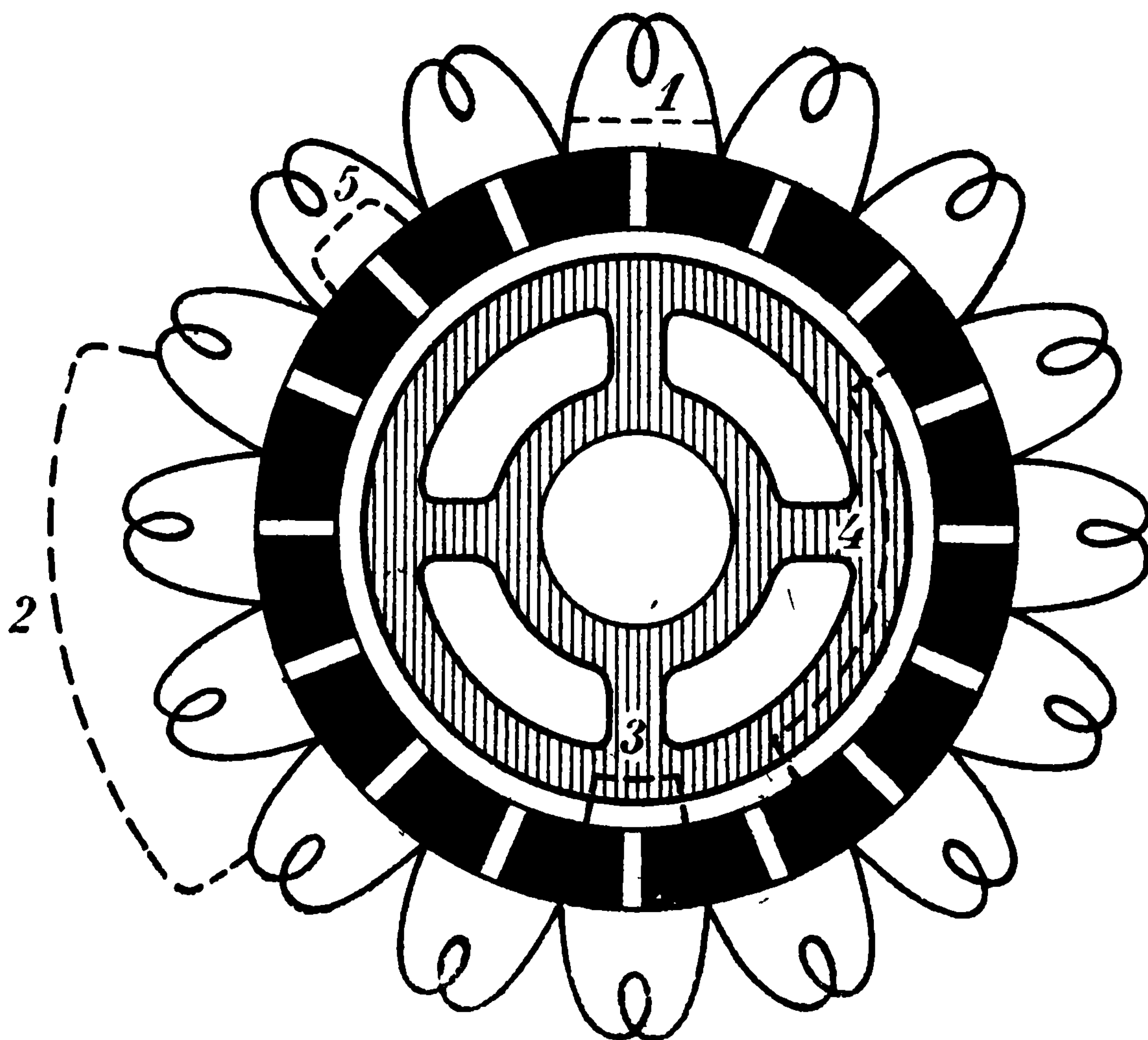


Рис 7 Короткие замыкания в якорной обмотке.

ных витков (2), когда якорные проводники касаются друг друга или железа якоря: а) вследствие порчи изоляции или б) влажности ее; в) между двумя соседними (3) или удаленными друг от друга пластинами (4), когда они касаются железной втулки коллектора потому, что испортилась изоляция между коллектором и втулкой, г) между двумя соседними пластинами (5) поверх слюдяной изоляции, через накопившуюся на ней токопроводящую пыль (угольную или

медную) или д) через заусенцы, образовавшиеся на пластинах при неумелой, грубой обточке коллектора.

14. Ослабление контакта между концами якорных проводников и пластинами коллектора вследствие плохой пайки или распатанности петушков („винтов, которыми эти концы в некоторых машинах соединены с пластинами).

15. Разрывы: а) в соединениях между концами якорных проводников и пластинами коллектора или б) в самих якорных проводниках.

Наконец, сопровождаемое искрением усиление проходящего через щетки тока может произойти просто потому, что усилился рабочий ток. Это случается, во-первых, когда машина не в меру перегружена, то-есть развивает недопустимо большую мощность; во-вторых, когда ее напряжение при допустимой мощности ниже, чем ему следует быть, потому что тогда ток становится сильнее, чем ему следует быть. (Напомним, что мощность равна произведению из силы тока на напряжение; когда один из множителей уменьшается, то другой множитель должен во столько же раз увеличиться, чтобы произведение осталось прежним.)

Искрение как следствие усиления рабочего тока.

Сообразив вышесказанное, мы можем указать следующие неисправности, вызывающие искрение, как следствие усиления рабочего тока.

16. Машина перегружена а) умышленно или б) вследствие значительной утечки тока (плохой изоляции) во внешней сети или в) вследствие чрезмерного трения в машине (стр. 109 — 110).

17. Напряжение слишком низко вследствие ослабления магнитного поля, которое может произойти а) из-за уменьшения числа оборотов у первичного

двигателя, поскольку речь идет о динамомашине или б) потому что ослаблен возбуждающий магниты ток, например, в его цепи по ошибке оставлено слишком сильное регулирующее сопротивление или некоторые магнитные катушки неправильно включены (см. неисправность 12).

Таковы главные неисправности, сопровождающиеся искрением. Закончив их перечисление, мы должны оговориться. Мы распределили их на две группы: а) ослабление контакта (между коллектором и щеткой) и б) усиление тока в щетке, а в пределах второй группы различали ток короткого замыкания, уравнительный ток и рабочий ток.

Но надо иметь в виду, что это различие в известной степени искусственно, хотя и облегчает обзор возможных неисправностей. Искрение часто происходит не по одной, а по нескольким причинам. Они могут действовать независимо друг от друга, могут и зависеть одна от другой.

Например, ослабление контакта может произойти вследствие нескольких, одновременно происшедших неисправностей из числа перечисленных под номерами 1-7. С другой стороны, ослабление контакта часто находится в необходимой связи с усилением тока в щетке; например, когда якорь бьет (см. 10). то заодно с ним бьет и коллектор (см. 7а). По первой причине через щетку проходит уравнительный ток, по второй ослабевает ее контакт с коллектором. И та и другая причина вызывают искрение. Наконец, усиление тока в щетке может быть вызвано и усилением рабочего тока и возникновением уравнительных токов. Это происходит, например, при неправильном включении магнитных катушек (см. 12 и 17).

2 Чрезмерное нагревание.

Самый заметный из признаков расстройства в машине постоянного тока, это — искрение, оттого что оно воспринимается на-глаз. Но современные машины, особенно машины

с добавочными полюсами или с компенсационной обмоткой, строятся так искусно, с таким незначительным поперечным полем якоря, что многие неисправности не имеют возможности выразиться в искрении. К тому же искрение, даже когда оно происходит, бывает порою так слабо, что остается незамеченным.

Вот почему важно уметь пользоваться другим признаком болезненного состояния машины — ее чрезмерным нагреванием, различая при этом: а) нагревание коллектора, б) нагревание якоря и в) нагревание магнитных полюсов.

Нагревание коллектора.

Если щетки во время работы искрят, то прежде всего можно объяснить нагревание коллектора ослаблением контакта его со щетками, то есть одною из неисправностей 1-7.

В самом деле, ослабление контакта означает усиление переходного через воздушный промежуток сопротивления. А чем больше переходное сопротивление, тем больше теплоты развивает в нем ток. Ведь и самая искра объясняется тем, что в месте перехода медь коллектора и медь (или уголь) щеток, накалившись от развившейся теплоты, испускают раскаленные, светящиеся пары. Эта теплота распространяется по всему коллектору, то есть нагревает его.

Подобным же образом, чем сильнее ток, проходящий через коллектор, тем больше он развивает в нем теплоты, и, значит, чрезмерный нагрев коллектора может также объясняться любой из неисправностей, перечисленных под номерами 8-17.

Итак, одни и те же неисправности могут вызывать искрение и нагревание коллектора, при чем иногда вызывают только нагревание коллектора, не доводя щеток до искрения. Именно есть одна неисправность, которая легко может повлечь за собою нагревание коллектора, но не искрение:

18. Слишком сильный нажим щеток, при котором коллектор нагревается от чрезмерного трения.

Нагревание якоря.

При всех неисправностях, перечисленных под номерами 8—17, усилившийся ток, проходя по всей якорной обмотке или по какой-нибудь части ее, способен вызвать, наряду с искрением, чрезмерное нагревание якоря.

Но, кроме того, якорь может нагреться от усиленного перемагничивания его железа и от усилившихся токов Фуко, вращающихся в этом железе.

Происходит это тогда, когда железо якоря рассекает слишком много силовых линий, иными словами, когда оно вращается в усилившемся магнитном поле. Это поле усиливается только в случае усиления возбуждающего магниты тока при прежнем числе витков у магнитных катушек.

Одна из неисправностей, при которых усиливается возбуждающий ток, нам уже известна. Это — короткое замыкание одной или нескольких магнитных катушек (см. 11), которое приводит к ослаблению сопротивления магнитной цепи и, значит, к усилению проходящего по ней тока, но оно же выводит из работы эти магнитные катушки, и поэтому поле не усиливается.

Но есть другая неисправность, имеющая следствием не только усиление возбуждающего тока, но и усиление магнитного поля, а именно:

19. Пониженная скорость машины. Она вынуждает нас усиливать ток возбуждения, так же, как повышенная скорость машины (см. 8) заставляет его ослаблять.

Такие же последствия имеет:

20. Неправильное соединение магнитных катушек, т. е. параллельное вместо последовательного.

Сопротивление магнитной цепи тогда уменьшено, и возбуждающий ток в той же мере усилен, проходя через прежнее число витков, значит, усилено и магнитное поле.

Нагревание магнитных катушек.

Чтобы нагрелись магнитные катушки, нет надобности в усилении магнитного поля; достаточно для этого, чтобы усилился возбуждающий ток. Поэтому не только неисправности 19 и 20, но и неисправность 11 имеют следствием нагревание магнитных катушек, а именно тех, которые не замкнуты накоротко.

Итак, мы познакомились с 4 признаками неисправного состояния машины постоянного тока и с 20 неисправностями, которые могут постигнуть ее. Какие признаки из числа четырех наблюдаются при каждой из двадцати неисправностей, вытекает из следующего сопоставления:

| | | | |
|-----------------------------|---|---------------|------------|
| Признак 1 : искрение | — | неисправности | 1 — 17 |
| „ 2 : нагревание коллектора | — | „ | 1 — 18 |
| „ 3 : „ якоря | — | „ | 8 — 20 |
| „ 4 : „ полюсов | — | „ | 11, 19, 20 |

3. Бессилие машины.

Те 20 неисправностей, которые мы покамест перечислили, ухудшают, правда, работу машины, но не прекращают ее. Теперь же нам надо рассмотреть неисправности, которые вызывают полное бессилие машины постоянного тока.

Если это динамомашина, то ее бессилие выражается в том, что она, хоть и вращается, а не дает напряжения, и, значит, не может совершать электрическую работу.

Если это электродвигатель, то он, наоборот, бессилен в том случае, когда не может вращаться, то есть совершать механическую работу, хотя и находится под напряжением.

Каждая динамомашина, если ее не вращать, а пропускать в нее ток, может стать электродвигателем. И бессильна ли машина в качестве динамомашины или в качестве электродвигателя, причины ее бессилия в основе своей одинаковы.

Они сводятся к тому, что какая-нибудь неправильность не дает возникнуть в машине сильному магнитному полю. Это поле одинаково необходимо и динамомашине, чтобы в ней возникла электродвижущая сила (а, значит, и напряжение на зажимах), и электродвигателю, чтобы в нем возникла механическая сила (вращающее усилие).

Но в динамомашине это поле возникает при ее вращении, а в электродвигателе — при пропускании в него тока из сети. В этом они различаются между собою. Поэтому некоторые неисправности, обессиливающие динамомашину, объясняются неправильным ее вращением, а некоторые неисправности, обессиливающие электродвигатель, — неправильным пропусканием тока в него, так что полный перечень неисправностей, мешающих работе динамомашины, не весь относится к электродвигателю, и наоборот. Чтобы не путать их, мы будем сначала говорить только о бессилии динамомашины.

Динамомашина не дает напряжения.

Динамомашины постоянного тока обычно работают с самовозбуждением, хотя их можно возбуждать и от постороннего источника тока, например, от другой динамо или от аккумуляторной батареи.

Самовозбуждение, как известно, основано на том, что полюса машины сохраняют некоторый, хоть и слабый, магнетизм от предыдущей работы, а при первом пуске в ход на месте установки от того намагничения, которому они были подвергнуты в лаборатории завода, построившего машину, для чего по их магнитным катушкам пропущен был ток из постороннего источника.

Это — так называемый остаточный магнетизм. Он создает в машине слабое магнитное поле. Когда якорь начинает в этом поле вращаться, в якорной обмотке зарождается слабая электродвижущая сила. Якорная обмотка соединена с магнитными катушками. Значит, в них появляется некоторый ток, и тогда остаточный магнетизм усиливается. Но усилившееся магнитное поле в свою очередь усиливает электродвижущую силу в якорной обмотке, а та опять-таки посылает в магнитные катушки более сильный ток, и так далее, и это взаимное усиление магнетизма в полюсах и электродвижущей силы в якоре продолжается до тех пор, пока машина не возбудится полностью, то есть не даст полного напряжения.

Таким образом, чтобы машина сама себя возбудила, ей совершенно необходимо иметь в своих полюсах остаточный магнетизм. Поэтому первая из неисправностей, мешающих возбудиться машине с самовозбуждением, такова:

21. Остаточный магнетизм уничтожен. Это может произойти по следующим причинам.

а) от толчков и сотрясений (во время транспорта или долгого простоя машины), потому что во всяком магните магнитный строй мельчайших магнитиков — частиц железа — может нарушиться от тряски;

б) вследствие происшедшего в работе сильного короткого замыкания; сильный ток короткого замыкания, пробежавший по якору, мог настолько усилить продольное поле якоря (см. стр. 12), противодействующее полю полюсов, что оно их размагнитило;

в) по магнитным катушкам случайно прошел ток обратного направления и размагнитил полюса;

г) цепь возбуждения после ремонта была по недосмотру неправильно приключена к якору, электродвижущая сила, возникнув в якоре под влиянием остаточного магнетизма, послала в магнитные катушки ток в таком направлении, что он

создал в полюсах магнетизм, противоположный остаточному и уничтоживший его;

д) динамомашина по недосмотру пущена вращаться в противоположную сторону. Тогда, опять-таки, ток из якоря поступает в магнитные катушки в таком направлении, что не усиливает остаточного магнетизма, а уничтожает его.

В пояснение последних двух неисправностей (21 г и 21 д) приведем несколько рисунков.

Допустим сперва, что машина у нас возбуждается от постороннего источника (рис. 8). К его положительному полюсу

приключен конец III обмотки возбуждения (состоящей из одной или нескольких магнитных катушек), к его отрицательному полюсу — конец IV этой обмотки. Значит, ток по ней направлен так, как показывают стрелки. Пусть якорь вращается вправо, как это показано стрелкой над ним, и пусть тогда ток из якоря выходит через щетку I, а возвращается в него через щетку II, как это показано знаками + и —.

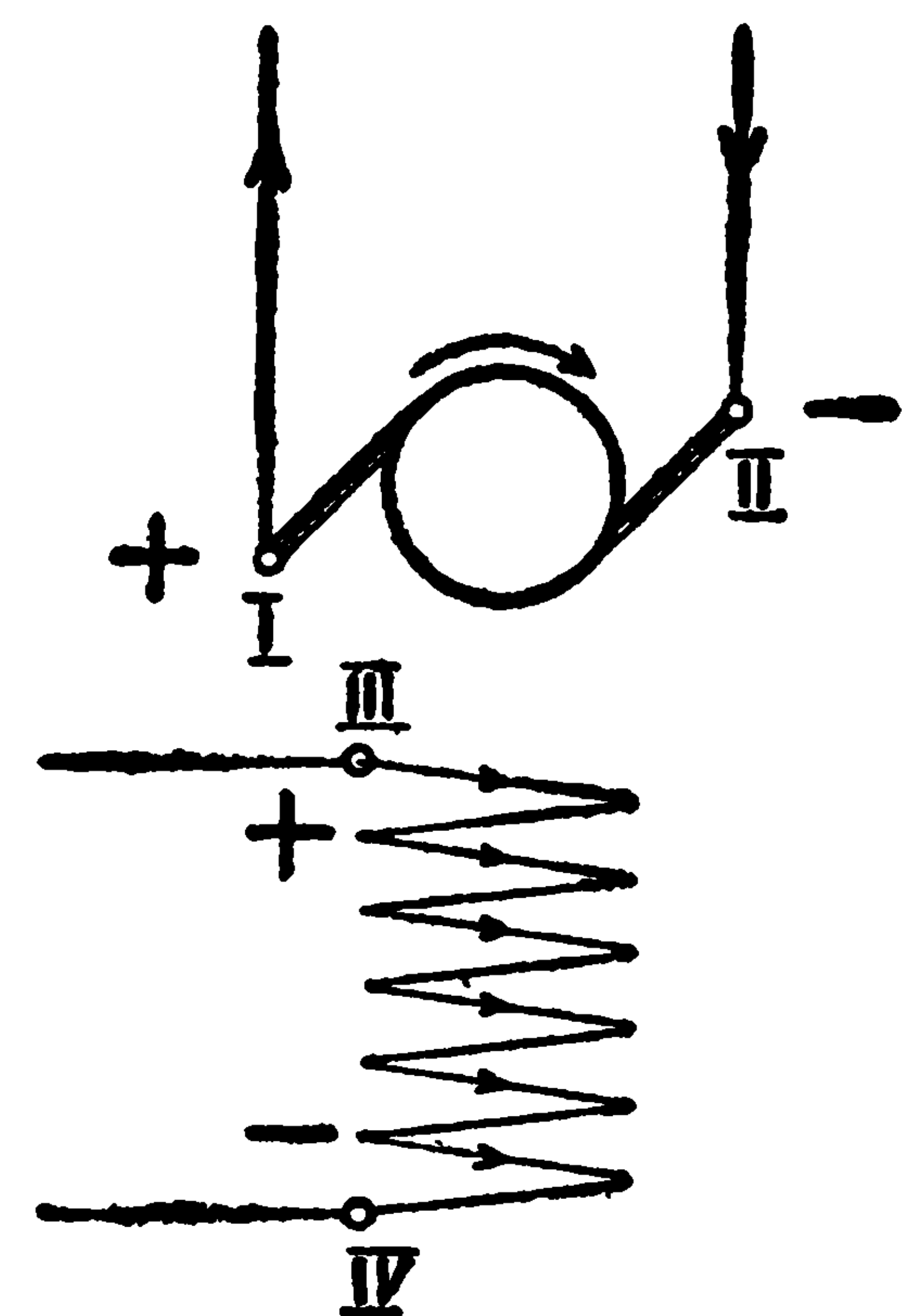


Рис. 8 Машина с посторонним возбуждением при вращении вправо.

Эту машину мы хотим переключить на шунтовое самовозбуждение. Для этого надо, конечно, соединить зажим + обмотки возбуждения со щет-

кою + (то есть III с I) и зажим — обмотки возбуждения со щеткою — (то есть IV с II). Только тогда ток по обмотке возбуждения будет проходить в прежнем направлении. Если же соединить III с II, а IV с I, то ток пройдет по магнитным катушкам в противоположном направлении и размагнитит полюса. Итак, правильная схема подключения магнитной обмотки к якорю, это — представленная на рис. 9 схема, где в одно из соединений введен еще, ради полноты, шунтовой регулятор.

Но если та же машина вращается не вправо, а влево как на рис. 10, то щетка I становится отрицательной, щетка II — положительной, и чтобы ток по магнитным катушкам проходил в прежнем направлении, нужно пересоединить зажимы: зажим III соединить со щеткой II, зажим IV — со щеткой I. Иначе, опять-таки, полюса размагнитятся.

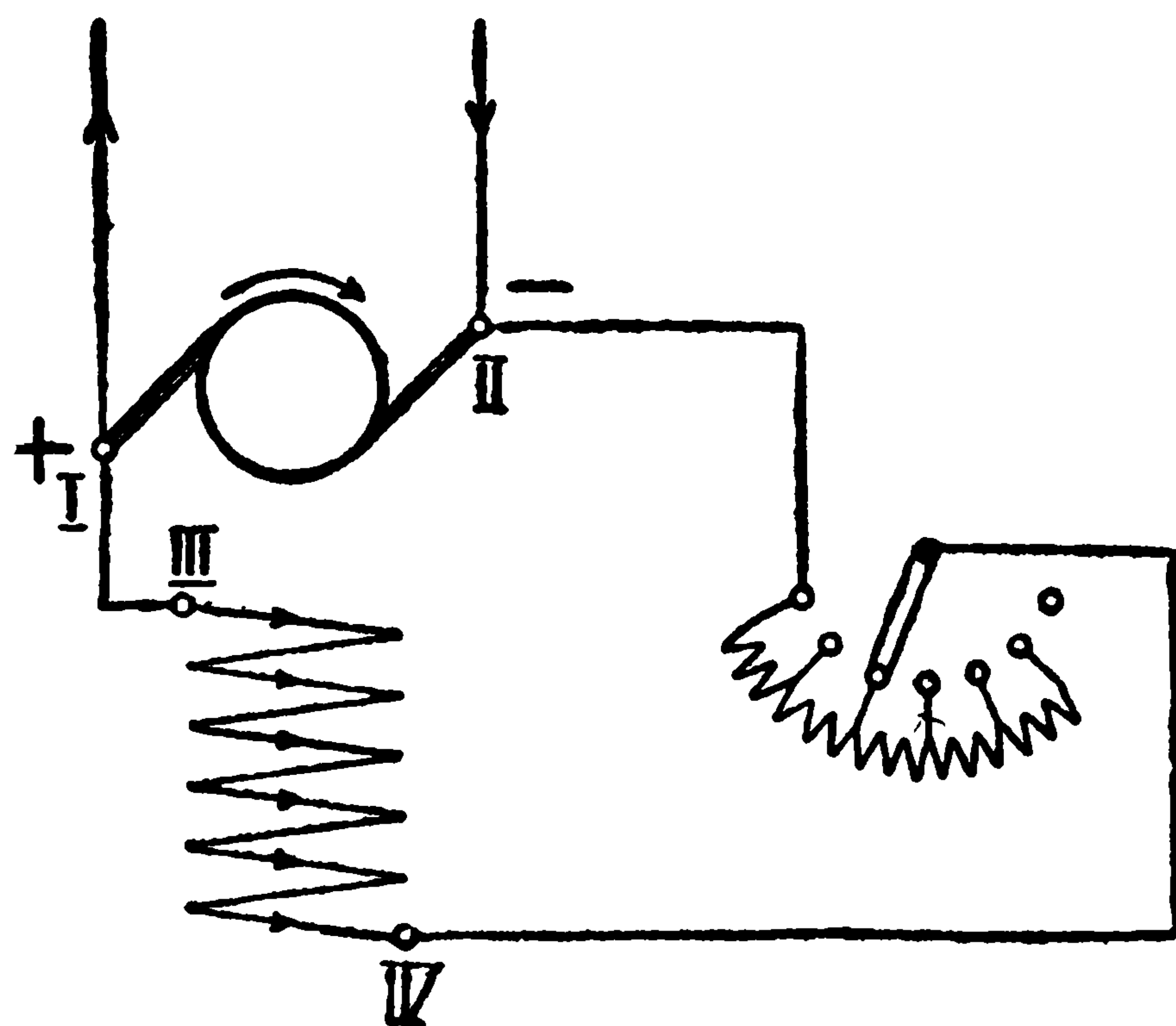


Рис 9. Шунтовая машина при вращении вправо.

Сказанное о машине с шунтовым самовозбуждением относится

и к машине с последовательным или компаундным возбуждением, как это прямо видно из рис. 11 и 12 и рис. 13 и 14.

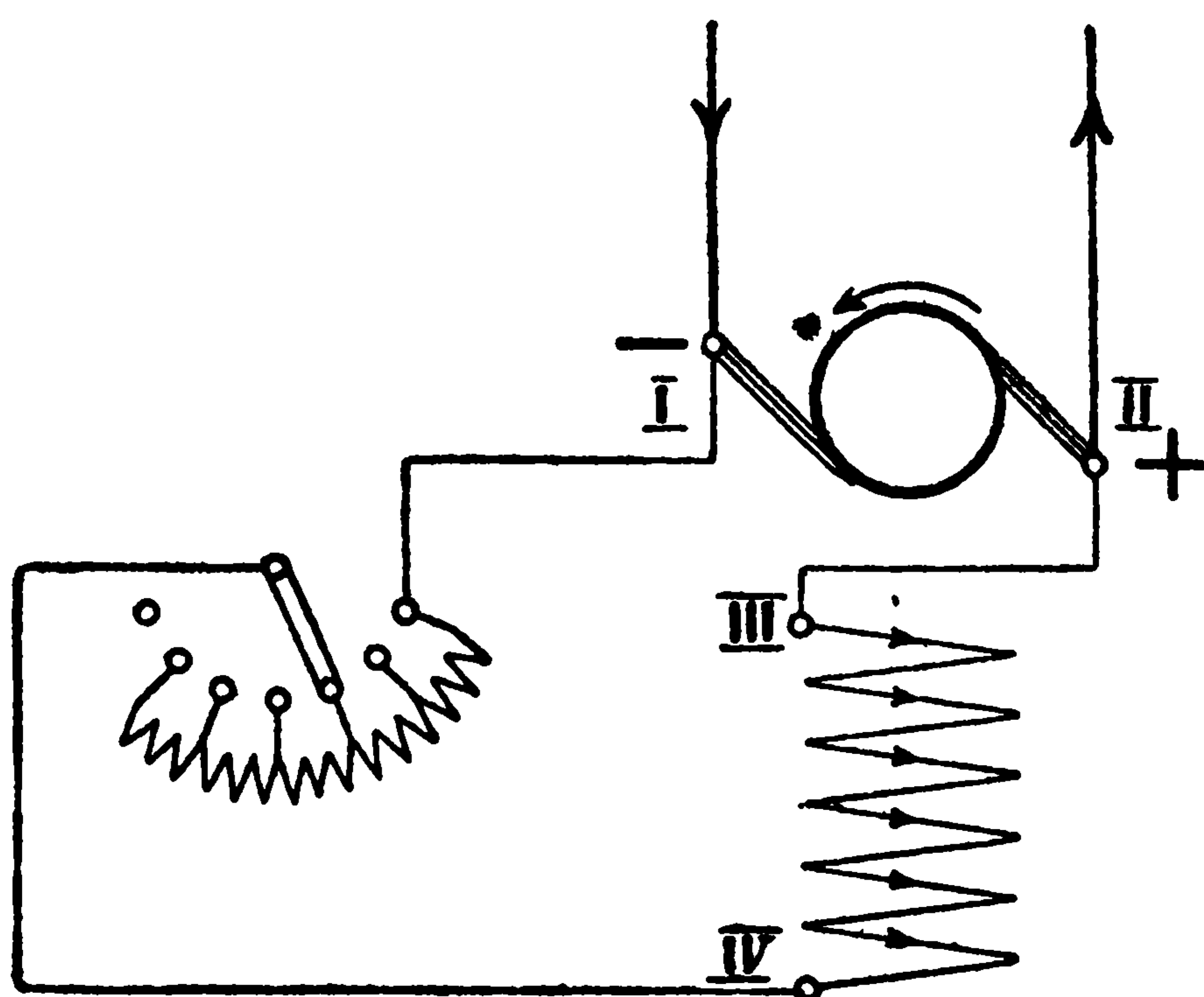


Рис. 10 Шунтовая машина при вращении влево.

В этом последнем случае, если якорь надо вращать в противоположную сторону, то пересоединить нужно как возбуждающую обмотку главного тока, так и шунтовую обмотку возбуждения.

Неисправность 21 заключается в неправильном присоединении магнитных катушек к якорю. Но может также случиться, что

22. Магнитные катушки неправильно соединены между собою, то есть соседние полюса, на кото-

рых они сидят, не разноименны (не один северный и один южный), а одноименны (два северных или два южных). Если машина двухполюсна, то в одной из магнитных катушек ток произведет размагничивающее действие на ее полюс, остаточный магнетизм будет в нем уничтожен, и машина не даст никакого напряжения, как и в случае 21. Если же машина многополюсна и неправильно чередуются только некоторые полюса, то остальные магнитные обмотки, соединенные между собою правильно, все же создадут магнитное поле,

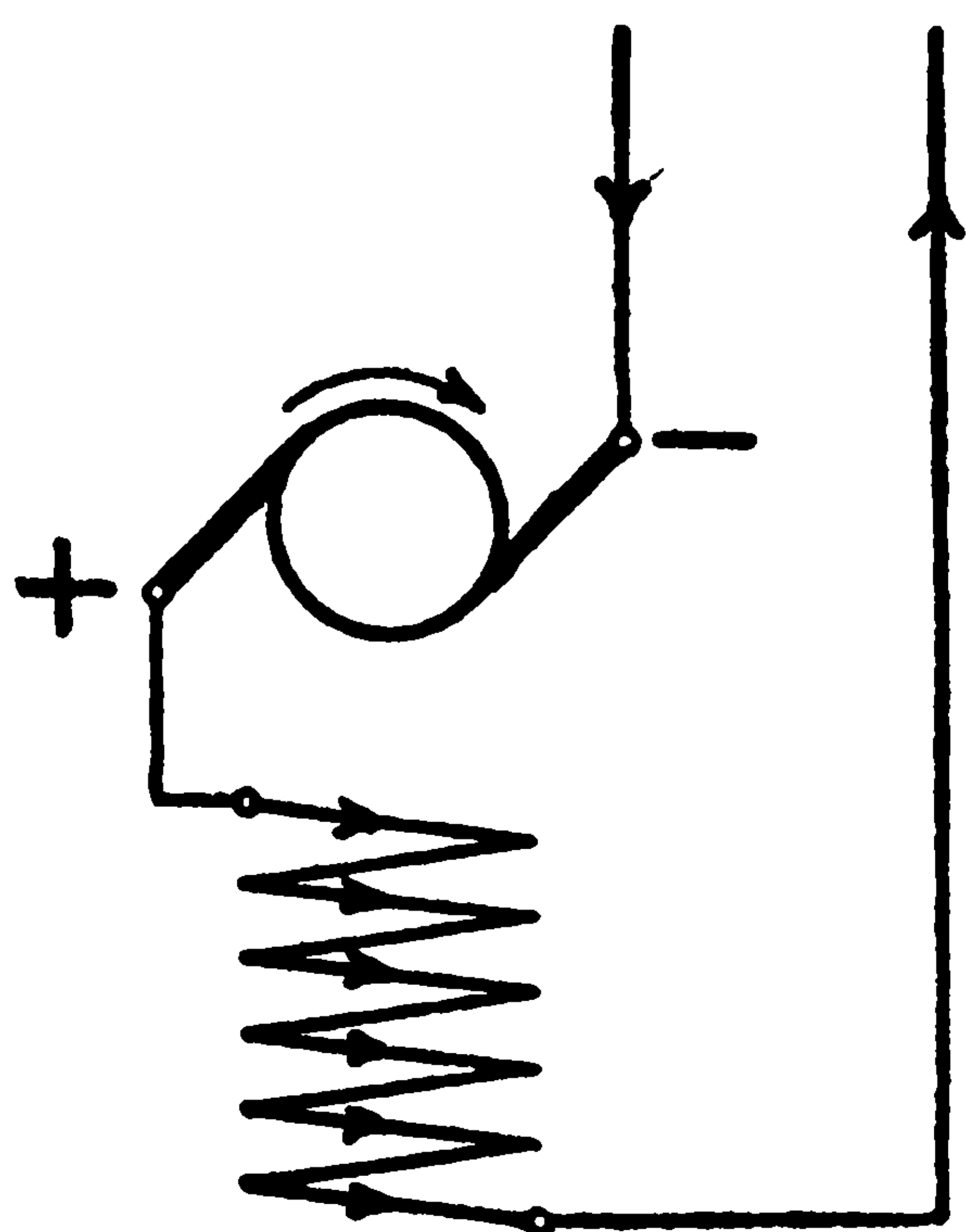


Рис. 11. Машина с последовательным возбуждением при вращении вправо

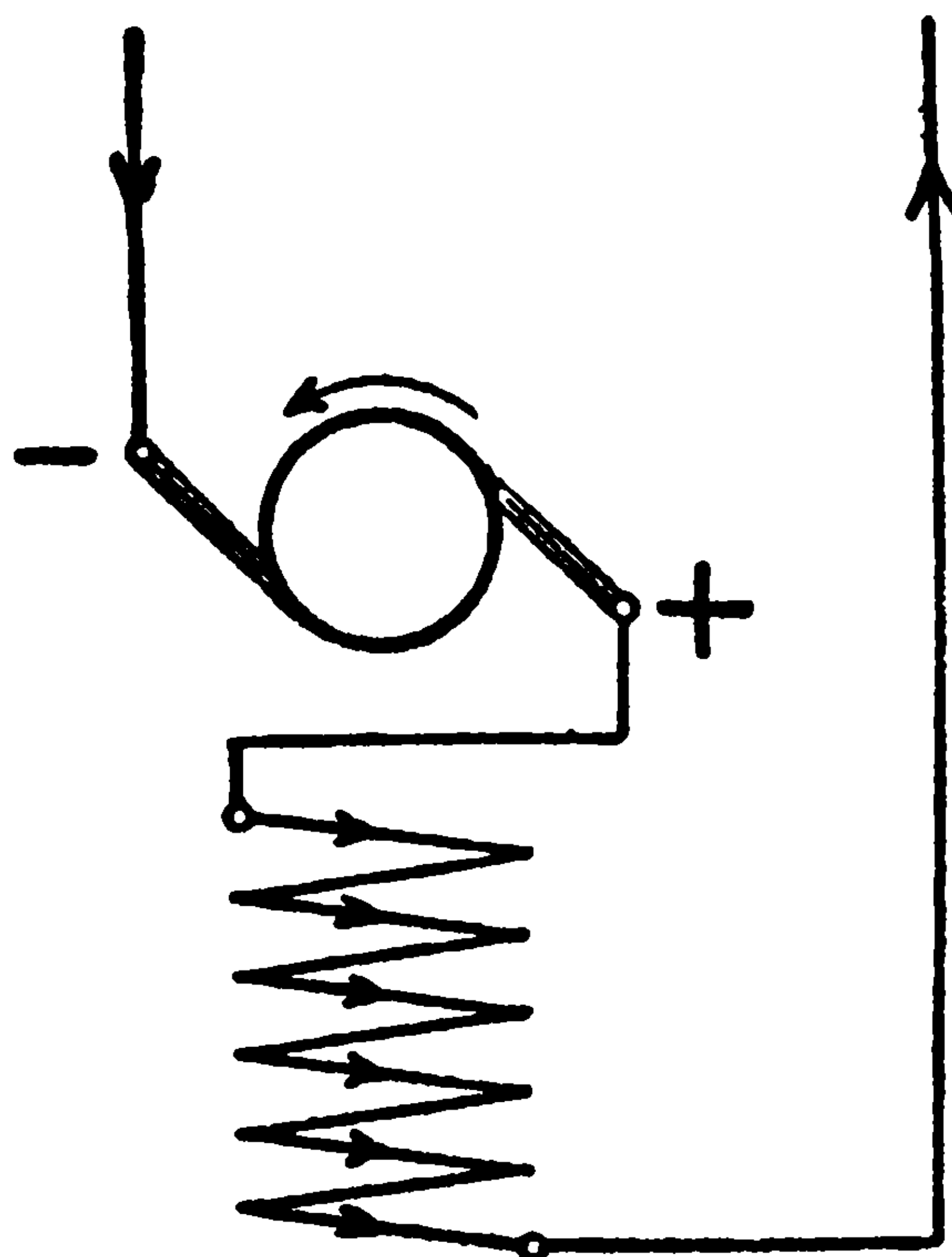


Рис. 12. Машина с последовательным возбуждением при вращении влево.

но неравномерное, вызывающее искрение щеток (см. 12) и настолько слабое, что машина не сможет полностью возбудиться, то есть дать нормальное напряжение.

В связи с этим последним случаем нам надо присмотреться к самовозбуждению еще внимательнее.

Мы видели, что магнетизм в полюсах и электродвижущая сила в якоре при самовозбуждении взаимно усиливают друг друга до тех пор, пока машина не даст полного напряжения. Но для этого надо, чтобы ток в обмотке возбуждения мог

возрасти до той силы, при которой полюса создают магнитное поле, соответствующее полному напряжению.

Этот ток в своем усилении зависит, в свою очередь, от того, как растет напряжение в цепи возбуждения.

Зависит он так же, как и всякий ток, от сопротивления на своем пути, т. е. от сопротивления в цепи возбуждения.

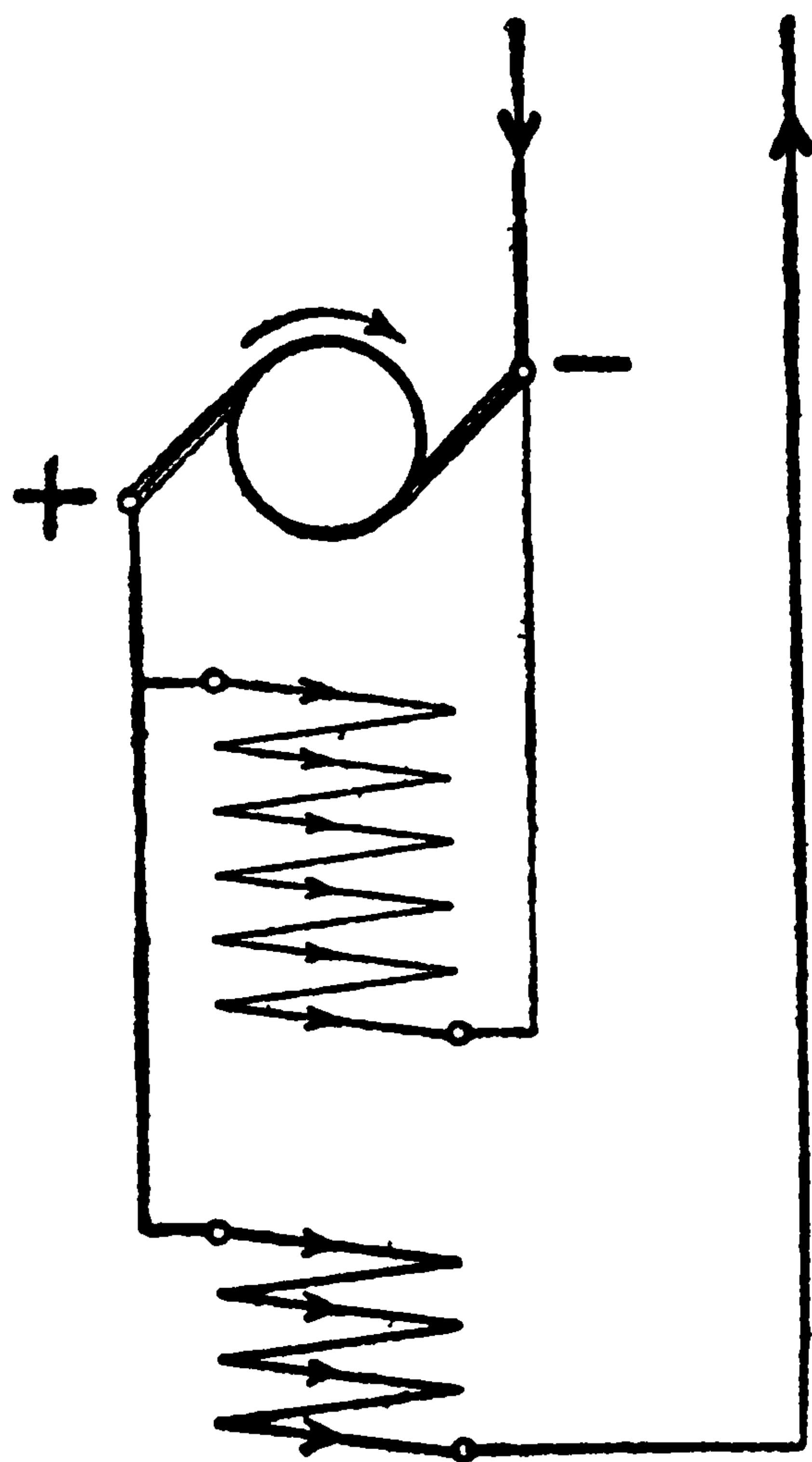


Рис. 13. Машина компаунд при вращении вправо.

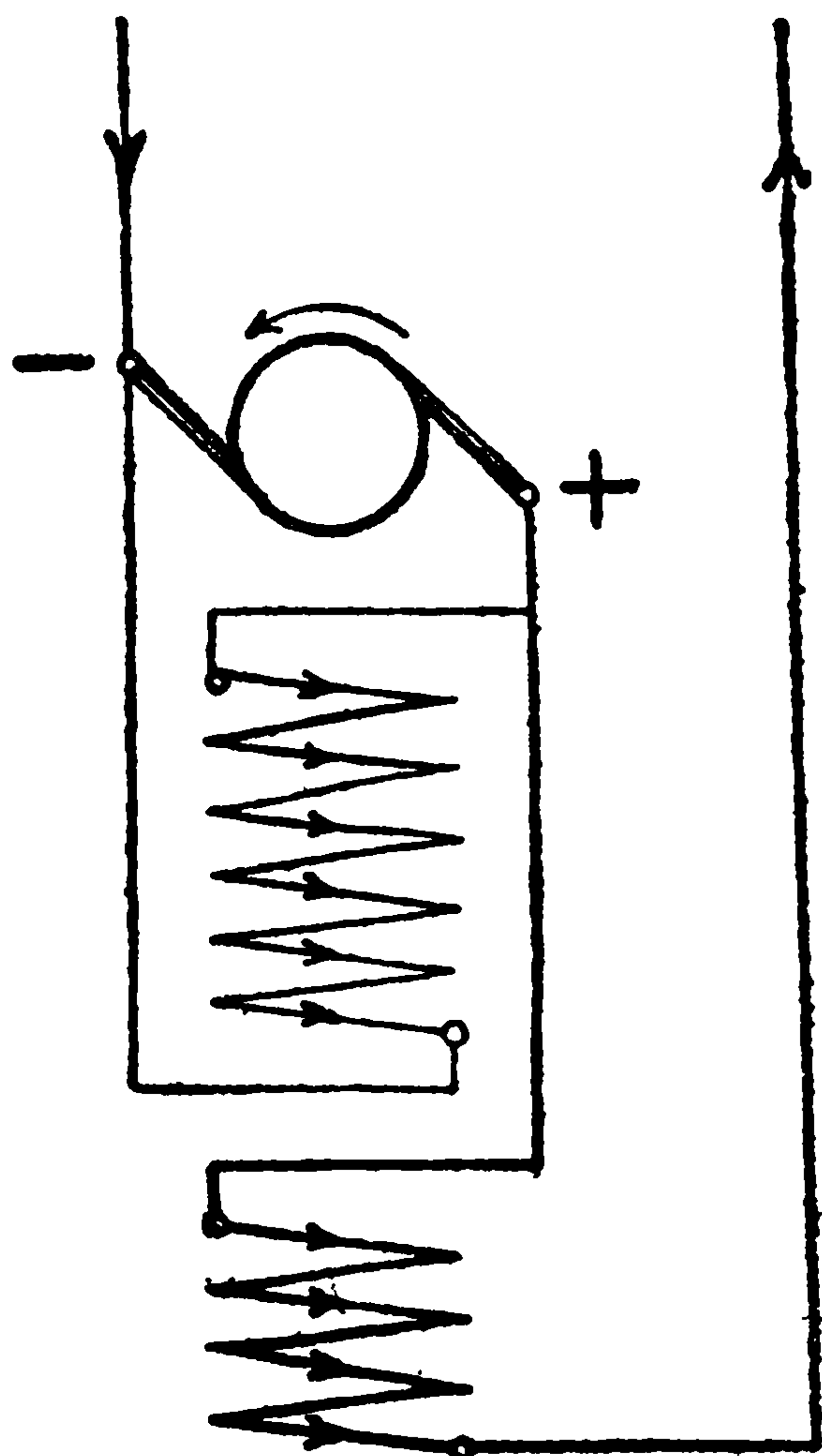


Рис. 14. Машина компаунд при вращении влево.

И может статься, что он окажется слишком слаб для самовозбуждения машины, либо потому, что напряжение на зажимах этой цепи недостаточно повысилось, либо потому, что ее сопротивление слишком сильно.

Что тогда произойдет?

Ток возбуждения достигнет какого-то предела и перестанет усиливаться. Значит, магнетизм полюсов перестанет усиливать электродвижущую силу в якоре. Напряжение на щетках, которые в шунтовой (и компаундной) машине

являются зажимами для шунтовой цепи возбуждения, в лучшем случае остановится в своем росте на каком-то недостаточном числе вольт. И стоит ему после этого хоть немного пойти на убыль, или стоит сопротивлению в шунтовой обмотке еще немного усилиться, — немедленно произойдут в обратном порядке те же явления, которые происходят при самовозбуждении: ослабевший магнетизм полюсов ослабит электродвижущую силу в якоре, напряжение на щетках еще больше понизится, ток возбуждения еще больше ослабеет и так далее. Словом, полюса, которые уже, было, намагнитились, опять размагнитятся.

Вот почему шунтовую машину пускают в ход без нагрузки и начинают постепенно ее нагружать только после того, как она полностью возбудилась. В самом деле, если бы она должна была посылать ток во внешнюю цепь уже в то время, как начинается ее самовозбуждение, то этот ток вызвал бы в якорной обмотке падение напряжения, а не усиление его, и магнитные полюса, едва начав намагничиваться, размагнитились бы снова.

Итак, машина с самовозбуждением не дает полного напряжения, когда ток в цепи возбуждения не может достигнуть полной силы, а это происходит в следующих случаях:

23. Шунтовая машина вращается слишком медленно. В самом деле, тогда проводники якоря с недостаточною скоростью рассекают силовые линии поля, и в них возникает недостаточная электродвижущая сила. Значит, и напряжение на зажимах шунтовой обмотки недостаточно, чтобы пропустить через нее достаточной силы ток.

24. Щетки на коллекторе сдвинуты на слишком большой угол от нейтральной зоны. При пуске в ход машины, когда ей предстоит самовозбудиться, внешняя цепь ее разомкнута (нагрузки нет), и нейтральная зона тогда находится как раз по середине между полюсами (см. стр. 11). Но в ожидании нагрузки щетки подчас уже

бывают смещены из этой зоны. Чем дальше они удалены от нее, тем меньше якорных проводников в каждой из параллельных цепей якорной обмотки находятся под воздействием одного и того же полюса и, значит, тем меньше сумма их электродвижущих сил, тем ниже напряжение на щетках. При слишком большом смещении щеток это напряжение может опять-таки оказаться недостаточным для того, чтобы гнать через шунтовую обмотку достаточной силы ток.

Если же машина уже возбуждена, и мы сдвинем щетки на слишком большой угол, то тем самым мы увеличим число витков, создающих продольное поле якоря (см. стр. 12) и, значит, ослабим главное поле, вследствие чего, как мы уже объяснили, может начаться размагничивание машины.

25. Сопротивление в цепи возбуждения слишком сильно.

а) Когда самовозбуждение начинается, из цепи возбуждения постепенно выводят сопротивление шунтового регулятора, чтобы оно не мешало току в этой цепи усиливаться. Поэтому причиной невозбуждения бывает нередко то, что рычаг шунтового регулятора по недосмотру оставлен на одном из средних контактов.

б) Вторую причиной усиленного сопротивления в цепи возбуждения часто бывает неплотное прилегание щеток к коллектору, потому что переходное сопротивление между щетками и коллектором тоже входит в состав общего сопротивления шунтовой цепи. Эта неисправность сводится к ослаблению контакта, т. е. к случаям 1 — 7 (стр. 8 — 10), и из них наиболее частою причиной невозбуждения машины является случай 2в, выступление слюды над медными пластинами коллектора.

26. Внешняя цепь шунтовой машины представляет собою слишком слабое сопротивление или даже замкнута накоротко. Пуск в ход шунтовой динамо совершается при разомкнутом главном рубильнике. Значит,

слабое сопротивление внешней сети не может помешать ей возбудиться до полного напряжения, разве что главные провода уже на пути к этому рубильнику соединились между собою непосредственно или через землю — случай исключительный!

Но даже когда полностью возбужденная динамо включается на внешнюю сеть, в которой сопротивление слишком слабо, то она должна послать в нее слишком сильный ток. Этот ток вызывает в якорной обмотке очень большое падение напряжения. Значит, на щетках остается очень небольшое напряжение. Ток короткого замыкания в сети сразу ослабевает, но и ток в шунтовой обмотке падает почти до нуля и уже не способен поддерживать магнитное поле машины: ее возбуждение прекращается.

Вообще в шунтовой машине возбуждение поддерживается только до тех пор, пока ее нагрузка, т. е. якорный ток не превосходит известного значения. При значительной перегрузке машина размагничивается, при коротком замыкании — и подавно. Мало того, в этом последнем случае остаточный магнетизм может даже совершенно уничтожиться под влиянием усилившегося продольного поля якоря, как мы это видели в случае 2а, или даже может произойти перемагничивание полюсов.

27. Внешняя цепь образуется в самой машине через корпус ее вследствие а) повреждения изоляции или б) влажности ее. В случае 26 мы предполагали слабое сопротивление или короткое замыкание во внешней сети. Такое короткое замыкание может произойти в случае порчи изоляции в двух проводах этой сети — прямом и обратном. Они могут тогда соединиться друг с другом непосредственно или через землю.

Но допустим, что изоляция испортилась только в одном из этих проводов, и он получил сообщение с землею, или что он умышленно заземлен (как, например, в трамвайных установках).

Пока изоляция обмоток в самой машине не испортилась, из заземленного провода не может уходить в землю ток, потому что для него отрезан путь возвращения в другой полюс установки: цепь через землю разомкнута.

Но пусть при таких условиях близ другого полюса машины испортилась изоляция в ней самой. Пусть, например, в какой-нибудь точке магнитная обмотка соприкоснулась с железом полюса или якорная обмотка — с железом якоря или щеткодержатель — со щеточным болтом. Так как и железный полюс, и железо якоря (через вал) и щеточный болт (через щеточное ярмо) соединены с корпусом машины, а корпус ее бывает обычно заземлен, то теперь уже ток из заземленного провода может уйти в землю, чтобы через корпус машины и ее поврежденное место возвратиться в ее другой полюс.

Эта цепь тока через землю совершенно подобна короткому замыканию в сети. Она вызывает в якорной обмотке такое же падение напряжения, как в случае 26, и машина либо вовсе не возбуждается, либо (если повреждение произошло во время работы) теряет свое возбуждение.

То же произойдет, если изоляция испортится в каких-нибудь двух точках машины, близких к обоим ее полюсам, где бы каждая из этих точек ни находилась, в магнитной ли обмотке, в якорной или в щеткодержателях, пусть бы даже ни один провод сети не имел сообщения с землею. Тогда, правда, короткое замыкание между этими точками произойдет не через землю, а только через корпус, но снова образуется внешняя цепь, которая потребует от якоря сильного тока, то есть вызовет падение напряжения в нем и ослабление шунтового тока.

28. Один или несколько витков якорной обмотки замкнуты накоротко: а) вследствие повреждения изоляции, б) вследствие ее влажности. Это один из частных случаев неисправности 27. Ясно, что он имеет

те же последствия. В то же время это та самая неисправность 13, о которой мы говорили на стр. 16. Только там мы предполагали, что она произошла во время работы машины. Теперь мы видим, что если она произошла во время простоя машины, то машину и вообще нельзя пустить в работу, — она не сможет самовозбудиться.

Наконец, причиной невозбуждения динамомашин, как это само собою разумеется, могут быть:

29. Разрыв в якорной обмотке (см. неисправность 15, стр. 17) и

30. Разрыв в цепи возбуждения.

Электродвигатель не приходит во вращение.

Пересмотрим неисправности 21 — 30, обессиливающие машину постоянного тока, когда она служит динамомашинной, и спросим себя, какие из них могут обессилить ее и в том случае, когда она применена в качестве электродвигателя.

Прежде всего мы исключим неисправность 21, — утрату машиною остаточного магнетизма, — потому что электродвигатель в нем не нуждается. Он ведь работает не с самовозбуждением. Ток, питающий его магнитные катушки, не в нем самом вырабатывается, а поступает в эти катушки из сети. По этой же причине не относятся к двигателю неисправности 23 и 24, так как они препятствуют только самовозбуждению динамо.

Зато неисправность 22 — неправильное соединение магнитных катушек друг с другом — так же обессиливает электродвигатель, как и динамомашину, потому что он не меньше ее нуждается для своей работы в сильном магнитном поле.

Подобным же образом ток в цепи возбуждения у электродвигателя должен иметь возможность достигнуть полной силы, чтобы создавать это сильное магнитное поле, и, значит, его обессиливают неисправности, вызывающие ослабление

этого тока. Однако, в электродвигателе этот ток едва ли может ослабеть из-за понижения напряжения на зажимах цепи возбуждения, потому что к ним приложено напряжение сети (полное — к шунтовой, частичное — к последовательной цепи возбуждения), а напряжение в сети обычно не изменяется. Но у электродвигателя, как и у динамо, возбуждающий ток может оказаться слишком слабым вследствие

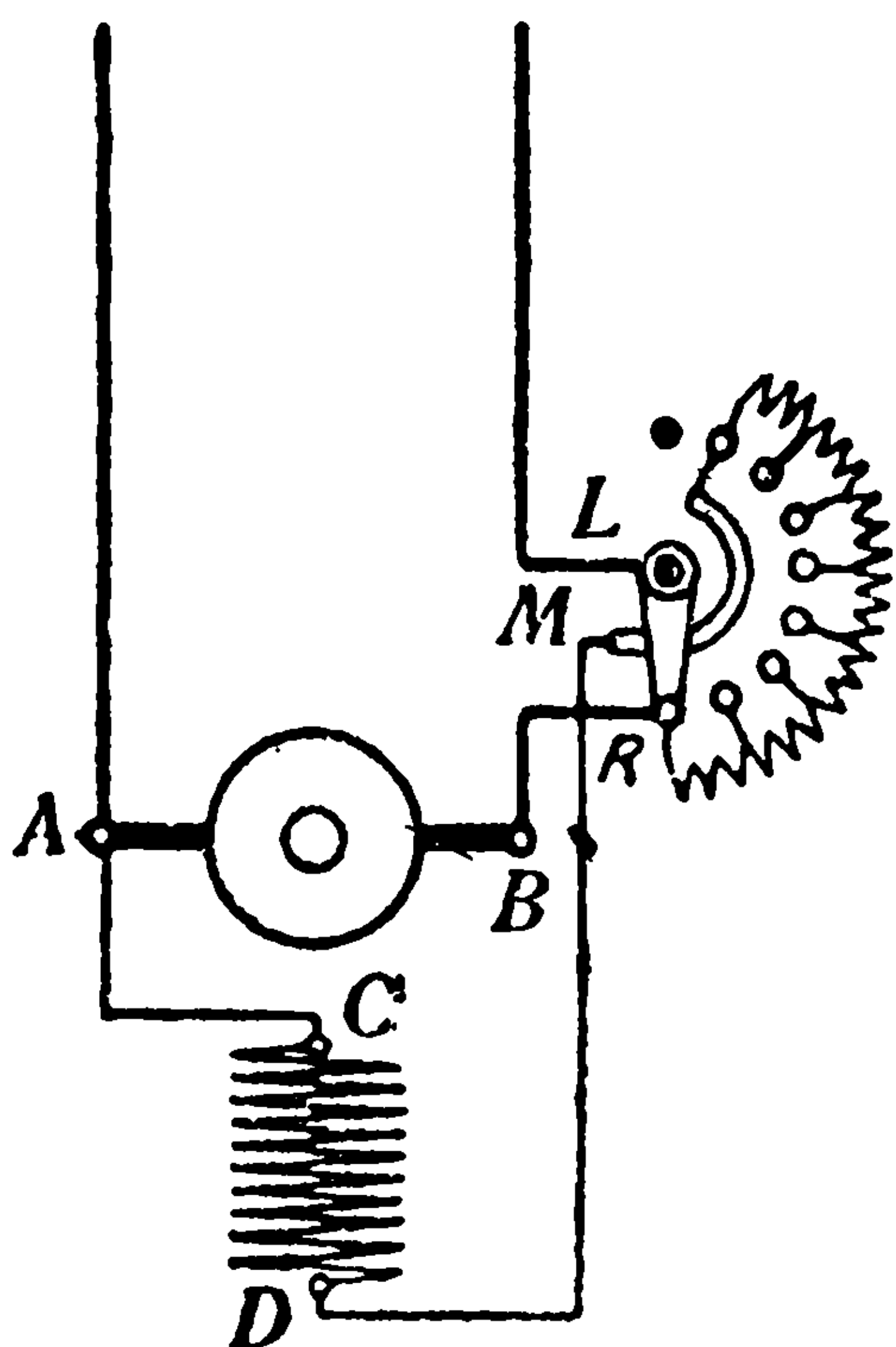


Рис. 15. Правильное включение пускового реостата.

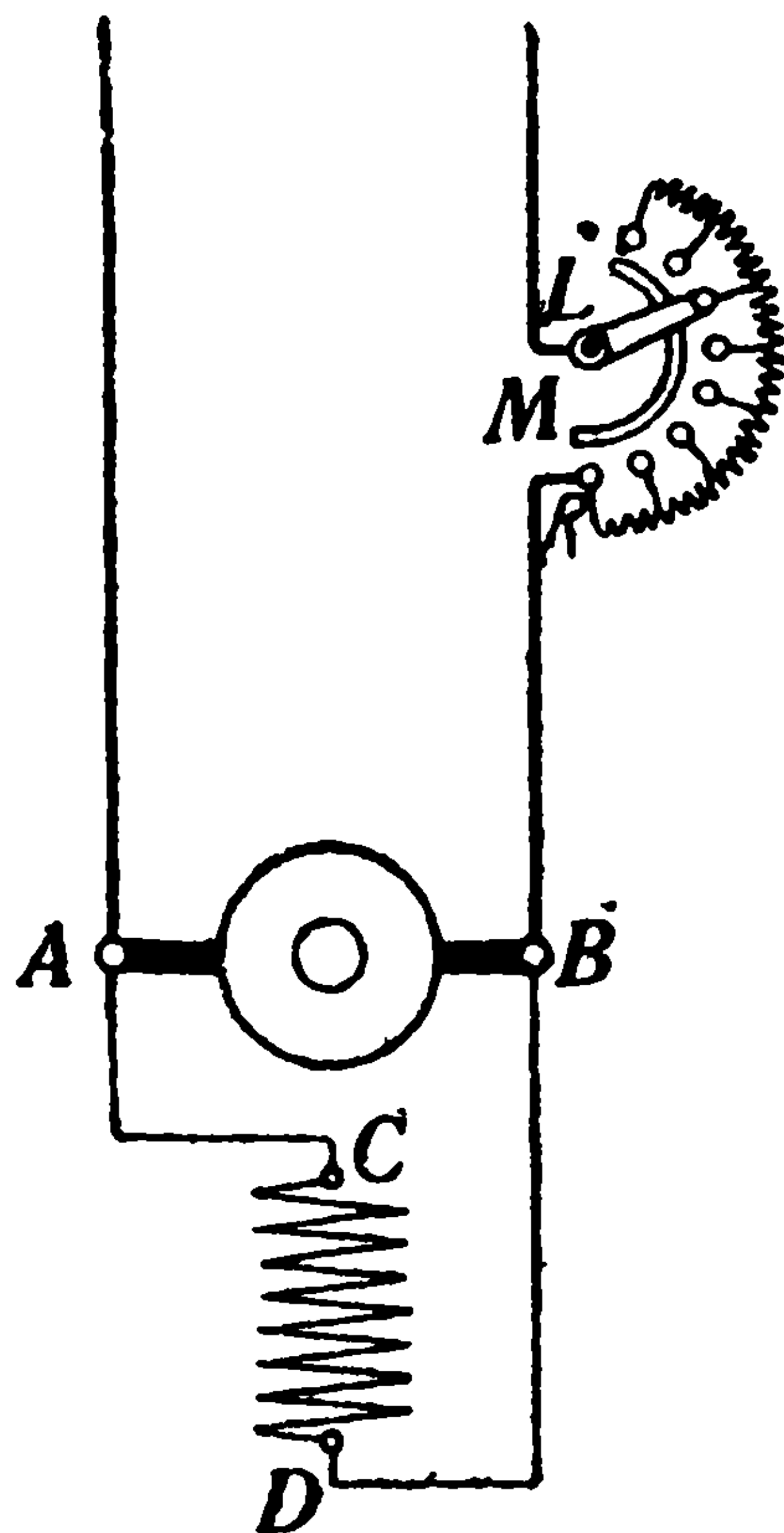


Рис 16. Неправильное включение пускового реостата.

слишком сильного сопротивления в цепи возбуждения, то есть по вине неисправности 25.

Неисправность 25а у шунтовой динамомашины заключается, как мы видели, в том, что сопротивление шунтового регулятора мешает ей возбудиться. У шунтового электродвигателя возможен тот же случай, когда неправильно включен пусковой реостат. Он должен быть включен, как на рис. 15, чтобы его сопротивление при пуске двигателя в ход было полностью введено только в якорную цепь, но ничуть не усиливало собою сопротивление цепи возбуждения. Если же он включен неправильно, как на рис. 16, то его сопротивление ослабляет ток и в якорной и в шунтовой цепи.

Неисправность 25 δ может, разумеется, постигнуть электродвигатель совершенно так же, как динамо.

(Неисправность 26—короткое замыкание в сети—к электродвигателю, конечно, не относится.)

Неисправность 27 — короткое замыкание через корпус машины — уже потому не дает двигателю прийти во вращение, что предохранители от чрезмерного тока немедленно перегорают.

Что касается неисправностей 28 (13) и 29 (15), — короткого замыкания или разрыва в якорной обмотке, — то они совершенно обессиливают электродвигатель только в том случае, когда по якорной обмотке вообще не может проходить ток; обычно же выражаются в искрении (см. 13 и 15), нагревании и замедленном, толчкообразном ходе.

Наконец, неисправность 30 — разрыв в цепи возбуждения, — разумеется, мешает шунтовому электродвигателю возбуждаться, так же, как и динамомашине, и, значит, не дает ему прийти в движение, а так как он по этой же причине не может развить противоэлектродвижущую силу, которая бы уравнивала напряжение сети и не давала ему пропустить через якорную обмотку слишком сильный ток, то и в этом случае, как в случае 27, предохранители немедленно перегорают. Что касается серьезного электродвигателя, то для него разрыв цепи возбуждения равносильен отключению от сети.

Напомним, впрочем, что если это повреждение происходит во время работы шунтового двигателя или если он принудительно пущен вращаться (вручную), а полюса сохранили достаточно сильный остаточный магнетизм, то якорь не останавливается, а, наоборот, ускоряет свое вращение. В самом деле, чем слабее магнитное поле, тем скорее якорь электродвигателя стремится в нем вращаться, потому что ему надо как можно полнее уравновесить приложенное к нему напряжение сети своею противоэлектродвижущей силою. Если

она падает из-за уменьшения числа силовых линий, рассекаемых якорными проводниками, то им надо как можно чаще эти линии рассекать, чтобы поднять противоэлектродвижущую силу до прежней высоты. Ненагруженный якорь может при таких условиях „понести“, то есть развить такую бешеную скорость, на которую не рассчитана его механическая прочность: бандажи, коллектор или обмотка могут разорваться. Если же двигатель нагружен и поэтому развить такой скорости не сможет, то напряжение сети, нимало не уравновешенное противоэлектродвижущей силой, пошлет в якорь ток чрезмерной силы, который в лучшем случае сожжет предохранители, а в худшем — обмотку якоря.

Как бы то ни было, мы видим, что у электродвигателя есть ряд обессиливающих его болезней — 22, 25, 27, 28, 29, 30 — общих с динамсмашиной. Болезней же, свойственных только ему и не дающих ему прийти во вращение, можно указать только три:

31. Ток из сети не проникает в якорную обмотку, хотя она не повреждена. Это может произойти только по причинам внешним, например, потому что перегорел предохранитель, сломался рубильник, высвободился провод, подведенный к зажиму пускового реостата, перегорел реостат.

32. Ток из сети не проникает в шунтовую обмотку, хотя она не повреждена. Это может, опять-таки, произойти из-за неправильного включения пускового реостата, когда, например, главные провода, подведенные к зажимам якоря, перепутаны, как на рис. 17, и поэтому оба конца магнитной обмотки приключены к одному и тому же полюсу

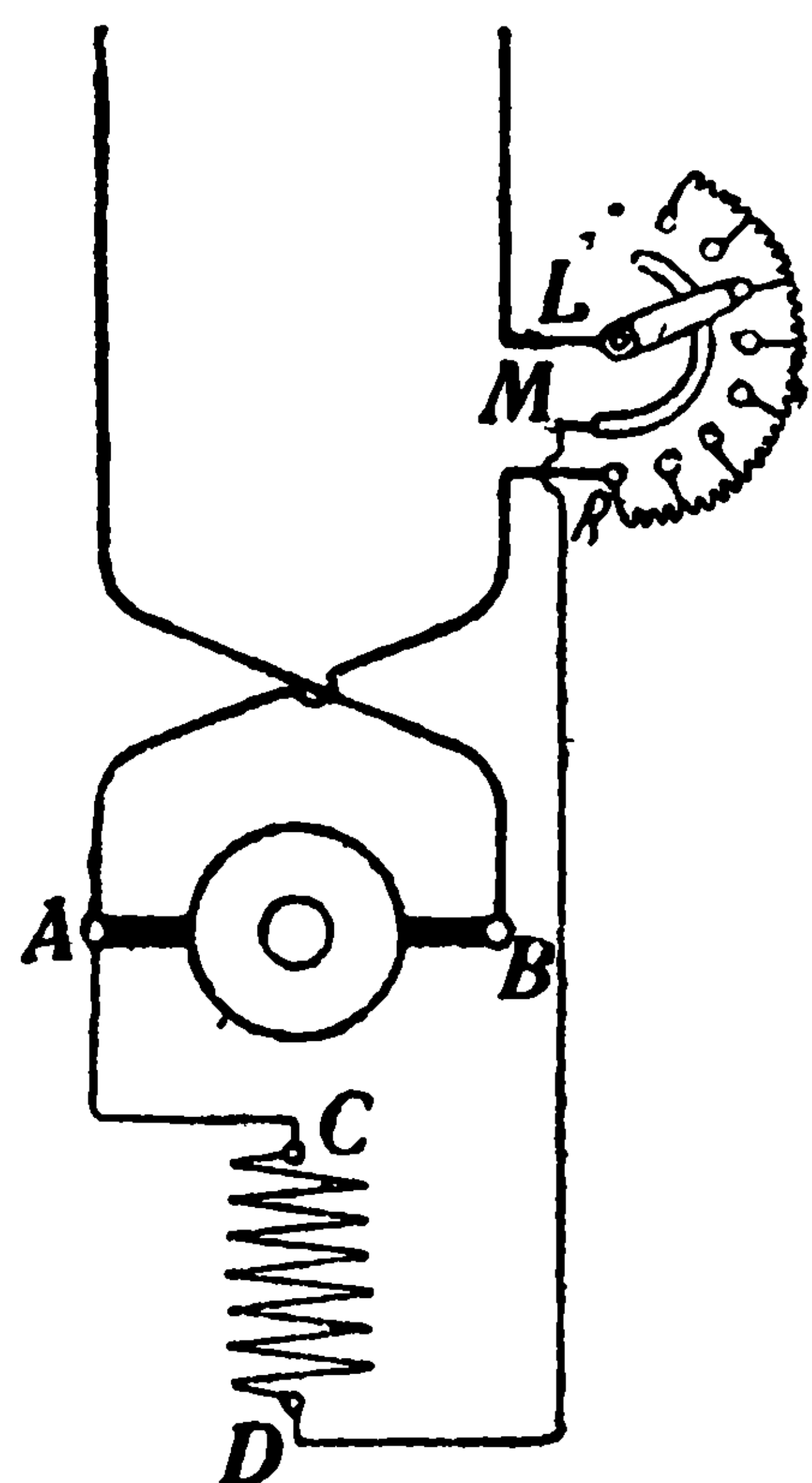


Рис. 17 Неправильное включение пускового реостата.

сети. Если в этом случае ненагруженный двигатель все же тронется с места, под влиянием остаточного магнетизма, то он так же „понесет“, как в случае 30.

33. Двигатель уже при пуске в ход перегружен и не может развить достаточно большое вращающее усилие для преодоления перегрузки.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

РАСПОЗНАВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

Мы описали в гл. I болезни, которые могут постигнуть машину постоянного тока, и объяснили, какие причины способны их вызывать.

Теперь нам нужно научиться распознавать эти болезни.

Когда мы по одному из признаков — по искрению, чрезмерному нагреванию или полному бессилию машины — видим, что с нею случилась какая-то неисправность, то у нас возникают те или иные подозрения, догадки. Их может всегда возникнуть немало. Когда, например, наблюдается искрение щеток, то можно, как мы видели, заподозрить 17 причин этого явления.

Конечно, на деле мы сразу отбросим некоторую часть возможных подозрений, признав их невероятными. Если мы знаем нашу машину и состояние, в каком она находится, то знаем также, в какой мере то или иное из наших предположений правдоподобно.

Если мы, например, имеем дело с новой или только-что отремонтированной машиной, если щетки были только-что пришлифованы, прижаты к коллектору и помещение содержится в опрятности, то мы не заподозрим ослабления контакта между щетками и коллектором, не заподозрим, значит, ни одной из неисправностей 1 — 7.

И наоборот, обычно целый ряд местных условий, случайных обстоятельств быстро наводят машиниста на правильную догадку, тем быстрее, чем он опытнее и сметливей. Опыт говорит машинисту, какие неисправности происходят часто, какие редко. Поэтому, например, когда двигатель не приходит во вращение, то прежде всего опытный машинист посмотрит, не перегорели ли предохранители (неисправность 31) и не перегружен ли двигатель (неисправность 33).

Но как бы то ни было, обычно приходится колебаться между несколькими догадками, и, значит, надо уметь проверить каждую из них.

В том же порядке, в каком мы раньше перечислили болезни, мы сообщим теперь читателю, как их определять.

1. Искрение щеток.

К п. 1 — 3 главы I. Искры проскакивают между щетками и коллектором. Поэтому при виде искр естественнее всего заподозрить неисправное состояние трущейся поверхности щеток или коллектора. Это подозрение особенно основательно, когда никаких других неправильностей в работе машины не замечается: ни необычного шума ни неправильного напряжения у машины, если это динамо, ни неправильной скорости, если это электродвигатель. Да и проверить это предположение можно без труда и без каких-либо сложных приборов, как мы это сейчас увидим.

1. Проверить, в каком состоянии находится трущаяся поверхность щеток, всегда можно на-глаз. Если на-глаз незаметно, чтобы угольные щетки были плохо пришлифованы к коллектору, изборозжены желобками, обломаны, или чтобы медные щетки были зазубрены, обожжены, загрязнены, то в искрении щеток не приходится винить их поверхность.

2. С коллектором дело обстоит иначе. Проверая состояние трущейся поверхности коллектора, нельзя до-

клинья (бейки), наблюдая, повсюду ли они погружаются до одинаковой глубины.

76. Если якорь не бьет, а бьет один только коллектор, то либо он перестал быть круглым, либо его ось не совпадает с осью якоря. Кронциркулем легко проверить первое подозрение. Для этого достаточно измерить диаметр коллектора в различных точках. Чтобы проверить второе подозрение, перед коллектором неподвижно укрепляют мелок, так чтобы его острие чуть-чуть касалось поверхности коллектора. Затем поворачивают якорь (лучше — вручную). Если оси коллектора и якоря не совпадают, то есть если коллектор плохо центрирован при сборке, то мел оставит след не на всей окружности коллектора, а только на части ее.

8. Чрезмерная умышленная скорость машины, вызывающая искрение щеток, не нуждается в проверке, именно потому, что она умышленна. Да и неисправностью ее приходится считать только тогда, когда она вызывает это вредное искрение.

9. Неправильное положение щеток на коллекторе принадлежит к тем вызывающим искрение неисправностям, которые сводятся к ослаблению магнитного поля в машине. Мы уже знаем (см. стр. 12), что чем больше угол, на который сдвинуты щетки с нейтральной зоны, тем больше проводников якоря участвуют в создании продольного поля, которое ослабляет главное поле машины. Но это непременно должно отразиться на ее электродвижущей силе.

В самом деле, электродвижущая сила зависит от силы поля. Она, как говорят в математике, пропорциональна ей, то есть уменьшается или увеличивается во столько же раз, во сколько уменьшается или увеличивается сила поля. Кроме того, электродвижущая сила пропорциональна скорости, с какою проводники якоря рассекают это поле, то есть пропорциональна числу оборотов машины в минуту. Если

скорость вращения, число оборотов, увеличивается во столько же раз, во сколько уменьшается сила поля, то электродвижущая сила остается без изменения.

Но скорость у динамомашины измениться не может — ее с неизменной скоростью вращает какой-нибудь двигатель. Значит, ослабление поля не возмещается увеличением скорости, электродвижущая сила падает, заодно с нею падает напряжение на зажимах якоря; это видно по показаниям вольтметра, и это доказывает, что поле ослаблено.

У электродвигателя скорость увеличиться может, и противоэлектродвижущая сила тогда остается без изменения, но как раз это повышение скорости опять-таки свидетельствует об ослаблении поля.

Таким образом, когда у вольтметра динамомашины показания уменьшаются, а у счетчика оборотов или у тахометра электродвигателя — увеличиваются, то можно заподозрить одну из неисправностей, вызывающих ослабление поля, в том числе и неправильное положение щеток на коллекторе.

9а. Когда все щеточное ярмо расположено неправильно, то искрение наблюдается под всеми щетками. В старых машинах нетрудно, ради проверки, поворачивать щеточное ярмо, наблюдая, не уменьшается ли при этом искрение. Но новые машины почти все снабжены добавочными полюсами, которые почти совершенно уничтожают поперечное поле якоря. У них щетки, чтобы не искрить, должны занимать совершенно определенное положение, неизменное при любой нагрузке. Это положение соответствует нейтральной зоне холостого хода и указано особыми метками или закрепляющими винтами на щеточном ярме и подшипнике. Достаточно, поэтому, взглянуть, на метках ли стоят щетки, правильно ли расположение закрепляющих винтов, чтобы проверить, правильно ли положение щеточного ярма.

9б. Если на все щетки искрят, а только некоторые, то можно заподозрить, что только искрящие щетки

расположены неправильно. Тогда надо проверить, одинаково ли расстояние между каждыми двумя соседними рядами щеток.

Этих рядов на коллекторе столько же, сколько у машины полюсов. Значит, расстояние между ними у двухполюсной машины равно полуокружности коллектора, у четырехполюсной — четверти окружности, у шестиполюсной — $\frac{1}{6}$ окружности и так далее.

Проверить его можно очень просто при помощи бумажной ленты. Ленту вырезают из бумаги такую, чтобы ширина ее была, примерно, два сантиметра, а длина — точно равнялась окружности коллектора. Потом ленту складывают вдвое или вчетверо или вшестеро, — смотря по числу полюсов, — накладывают на коллектор и смотрят, в точности ли места контакта щеток приходятся против точек перегиба на ленте. Если в каком-нибудь ряду щеток замечается такая неточность, то надо посмотреть, не покривились ли у отдельных щеткодержателей болты, не сломались ли у них пружины и т. д.

10. В п. 7 уже говорилось, как проверить подозрение, что якорь бьет.

11. Если одна магнитная катушка замкнута накоротко, то по ней ток не проходит, и она не греется. В то же время во всей цепи возбуждения сопротивление ослабело, потому что из нее выбыла короткозамкнутая катушка. Значит, ток, продолжающий проходить по другим катушкам этой цепи, усилился, и они греются больше, чем обычно. Отсюда — простое средство проверить это подозрение, если только руке легко иметь доступ к магнитным катушкам: надо перешупать их. Если рука ощущает значительную разницу в нагревании катушек, то почти наверное более холодная отчасти или вполне замкнулась накоротко. Эту проверку лучше производить не на ходу машины, а осторожности ради сейчас же после ее остановки.

Второй способ проверки основан на том, что короткозамкнутая катушка, лишившись тока, перестает намагничивать свой полюс. Он сохраняет только остаточный магнетизм и, значит, притягивает гораздо слабее других полюсов куски железа, например, гаечный ключ.

Но если в катушке только несколько витков замкнулись накоротко, то оба эти способа проверки недостаточно убедительны, потому что в такой катушке ток ослабевает лишь незначительно.

Более точный способ — измерить вольтметром напряжение на обнаженных зажимах каждой катушки. Это напряжение равно, как известно, произведению из силы тока на сопротивление катушки. Если катушка отчасти замкнулась накоротко, то у нее сопротивление уменьшено; если она полностью замкнулась накоротко, то у нее сопротивления вовсе нет. Значит, если вольтметр на зажимах одной из катушек стоит на нуле или показывает меньше вольт, чем на зажимах у остальных, то эта катушка замкнута накоротко целиком или частично.

Когда машина остановлена, то подобное же исследование можно произвести при помощи „гальваноскопа“. Так называется прибор, который соединяет в себе источник тока (батарейку сухих элементов) и собственно гальваноскоп (указатель тока). Такой прибор присоединяют поочередно к магнитным катушкам. Ток из него пробегает у неповрежденных катушек по довольно значительному сопротивлению и поэтому довольно слаб; у катушек, отчасти замкнувшихся накоротко, ток пробегает по ослабленному сопротивлению, и поэтому стрелка гальваноскопа отклоняется сильнее; у катушек же, полностью замкнувшихся накоротко, стрелка отскакивает в свое самое крайнее положение.

12 При неправильном чередовании полюсов поле ослабевает, как и при неправильном положении щеток в случае 9 (см. стр. 40—41). Значит, обе эти неисправности

можно заподозрить, наблюдая у динамо понижение напряжения, а у электродвигателя — повышение число оборотов. Если проверка не подтверждает, что произошла неисправность 9, то надо проверить второе подозрение.

Это можно сделать при помощи магнитной стрелки (простого компаса). Если подносить ее поочередно к полюсам, то она отклоняется в ту или другую сторону, смотря по

тому, северный ли полюс перед нею или южный.

Само собою разумеется, что в машинах без добавочных полюсов за каждым северным полюсом должен следовать южный, за каждым южным — северный.

В машинах же с добавочными полюсами чередование полюсов у динамо другое, чем у

электродвигателя. Объясняется это тем, что машина в качестве электродвигателя вращается в направлении противоположном тому, в каком ее нужно вращать, как динамо, при том же направлении магнитного поля и тока в якоре.

На рис. 18 представлена двухполюсная машина с добавочными полюсами. Если это динамо и если она вращается вправо, то поперечное поле якоря направлено сверху вниз. Чтобы его подавить, добавочные полюса должны создавать свое поле в направлении снизу вверх, значит, внизу должен находиться добавочный северный, а вверху — добавочный южный полюс. Если затем в эту же машину посылать ток в том же направлении, в каком он раньше из нее выходил, то она станет

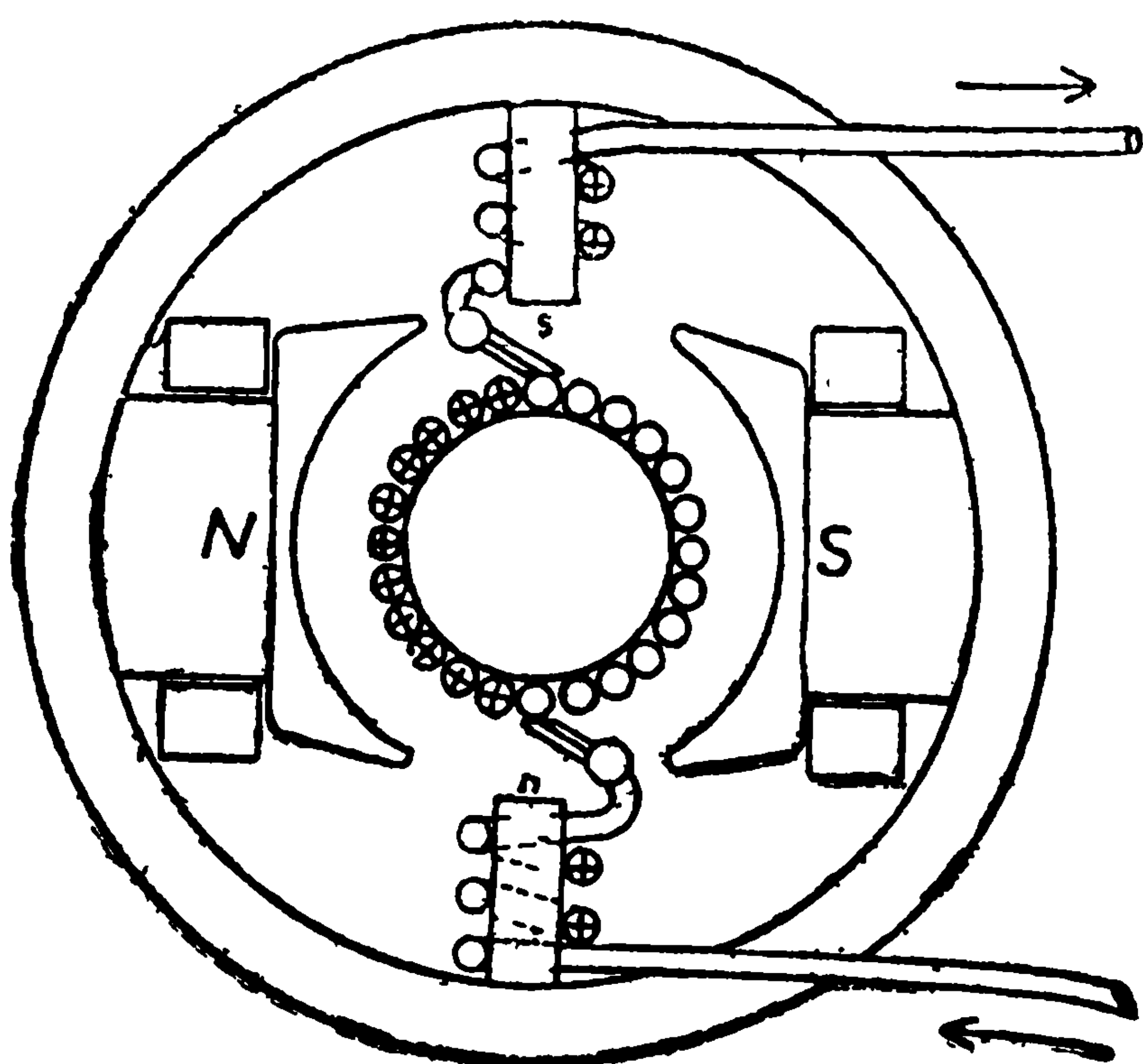


Рис. 18. Добавочные полюса

электродвигателем и начнет вращаться влево, но поперечное поле якоря сохранит свое направление и, значит, наверху попрежнему должен находиться добавочный южный, а внизу— добавочный северный полюс, чтобы это поле якоря подавлять.

Таким образом, если обходить полюса в направлении вращения машины, то у динамо каждый добавочный полюс должен быть одноименен с тем главным, который следует за ним, а у двигателя— с тем главным, который ему предшествует. Обозначая главные полюса прописными латинскими буквами (N — северный, S — южный), а добавочные— малыми (n — северный, s — южный), можно это правило представить так:

Генератор: $N — s — S — n — N — s — S$ и т. д.

Двигатель: $N — n — S — s — N — n — S$ и т. д.

Если под рукою нет магнитной стрелки, то можно и без нее проверить чередование полюсов. Надо только исходить от положительной щетки динамомашины, если она работает с самовозбуждением, или от положительной шины сети, к которой присоединено постороннее возбуждение динамо или цепь возбуждения электродвигателя, и проследить, в каком направ-

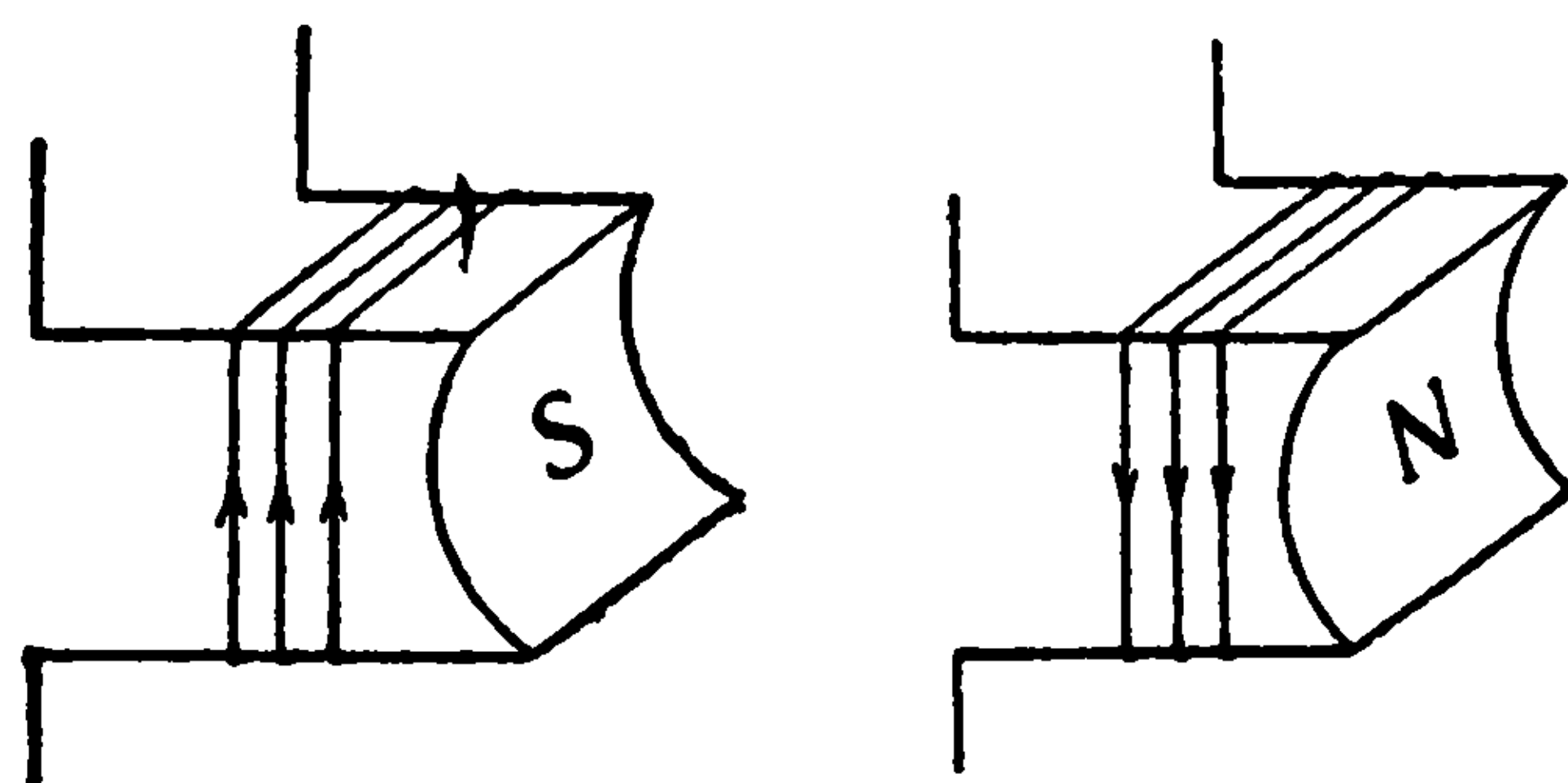


Рис 19—20. Пояснение правила полярности

лении проходящий по катушкам ток обегает каждый полюс. Если глядеть на выточку полюса (на полюсной башмак), то южный полюс ток обегает в направлении часовой стрелки, а северный— против часовой стрелки (см. рис. 19 и 20).

13. Один или несколько витков якорной обмотки, замкнувшись накоротко, продолжают вращаться в магнитном поле. Поэтому в них неизбежно, по индукции, зарождается сильный ток короткого замыкания, настолько

сильный, что изоляция проводников в этой части обмотки сейчас же начинает обугливаться: пахнет гарью. Если это динамо, то у нее напряжение падает, потому что уменьшилось число действующих проводников, в которых создается ее электродвижущая сила, и потому что ток короткого замыкания усиливает поле якоря, а оно ослабляет главное поле. Если же это электродвигатель, то он меньшим числом проводников отталкивается от магнитного поля и ход у него замедляется, становится толчкообразным, а амперметр показывает усиленное потребление тока, расходуемого на производство тока короткого замыкания. Заметив хотя бы один из этих признаков, машину надо немедленно остановить, иначе поврежденная часть якорной обмотки будет сожжена током короткого замыкания в несколько минут.

Если сейчас же после остановки ощупать якорную обмотку, то нетрудно найти витки, замкнувшиеся накоротко, потому что они нагрелись особенно сильно. Но затем нужно еще распознать причину короткого замыкания и точнее найти его место.

Нет ли заусенцев на коллекторных пластинах и не создали ли эти заусенцы прямого соединения между смежными пластинами поверх слюдяной изоляции? — Это нам скажет внимательный осмотр поверхности коллектора. Хорошо при этом осмотре пользоваться лупою (увеличительным стеклом).

Не токопроводящая ли пыль замкнула накоротко смежные пластины? — Это подозрение основательно, если еще до повреждения машины на коллекторе наблюдались круговые светящиеся полосы: это и была накалившаяся пыль, угольная или медная, образовавшая вольтовые дуги между отдельными пластинами. Проверить такую догадку надо опять-таки тщательным осмотром коллектора.

Не влажность ли изоляции виновата в повреждении? Чтобы на это ответить, надо испытать сопротивление изоляции медных проводников относительно корпуса машины при по-

мощи индуктора или гальваноскопа. Это испытание описано в связи с неисправностью 27 на стр. 55.

Наконец, не испортилась ли изоляция в отдельных точках обмотки или между коллектором и его втулкой? Она могла истереться, перегореть. — Помимо индуктора или гальваноскопа, это можно проверить просто вольтметром, если иметь в распоряжении посторонний источник тока. Но только у этого источника тока напряжение должно быть низкое, примерно в десять раз ниже того, на которое рассчитана машина. Таково оно, например, у небольшой батареи простых элементов или аккумуляторов. Можно, впрочем воспользо-

ваться и напряжением сети, если большую часть его (примерно девять десятых) поглотить добавочным сопротивлением, например, ламповым реостатом. Это пониженное напряжение прикладывают к щеткам, как на рис. 21. Тогда через все неповрежденные витки якоря проходит ток. На концах ка-

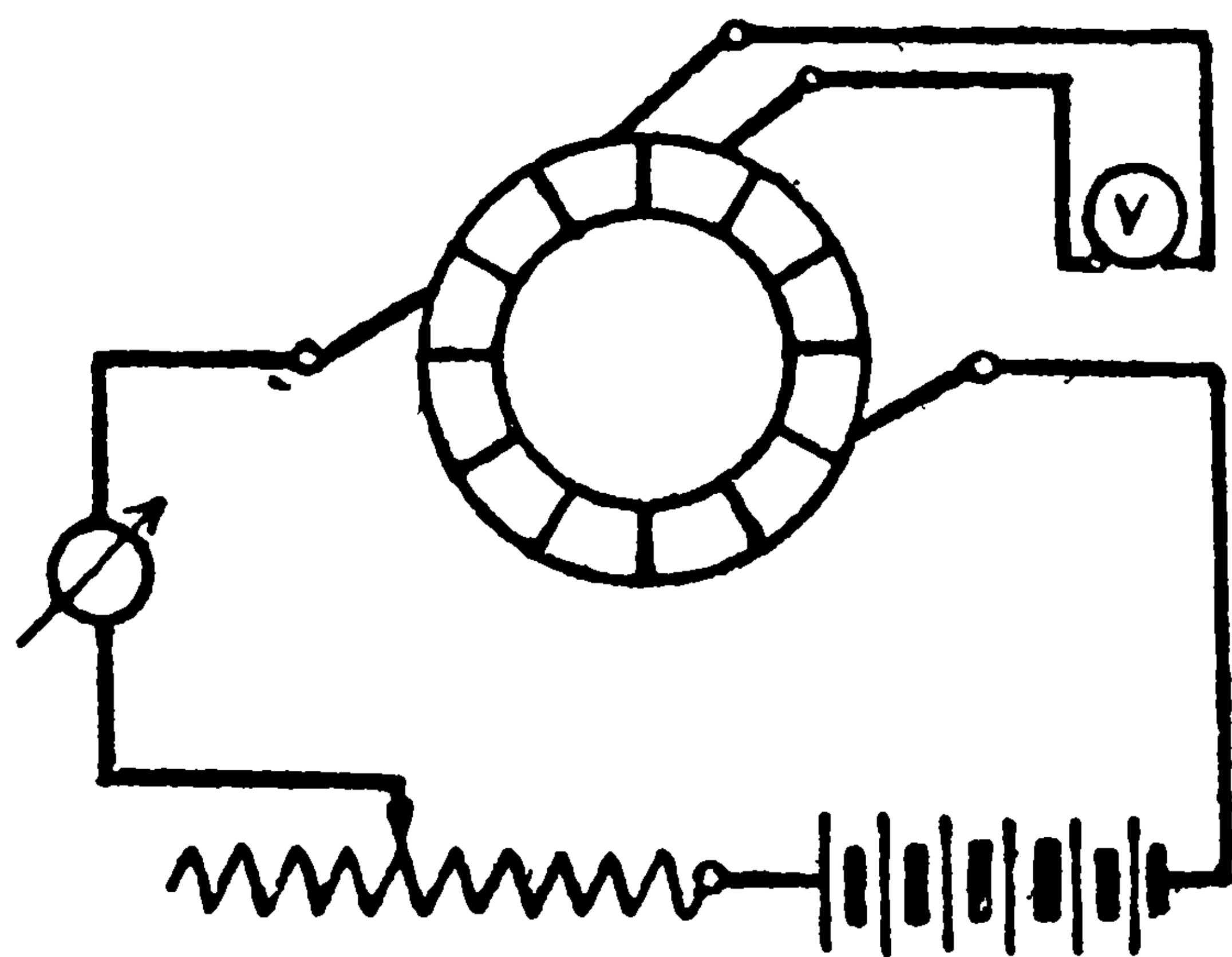


Рис. 21. Исследование изоляции коллектора и якоря.

ждого витка, то-есть на двух смежных пластинах, к которым он подведен, действует напряжение, которое равно произведению из силы этого тока на сопротивление витка. Но в короткозамкнутый виток (случай 1, 3, 5 на рис. 7) или в короткозамкнутую часть якорной обмотки (случай 2, 4 на том же рисунке) ток совсем и не проникает. Он обходит их, предпочитая пройти по прямому короткозамыкающему соединению между пластинами, потому что у этого соединения сопротивление ничтожно. Значит, и напряжение на концах этого соединения ничтожно, и вольтметр, прикладываемый поочередно к разным пластинам, не даст отклонения, когда будет приложен к пластинам, имеющим между собою прямое

соединение: тем самым он укажет короткозамкнутые один или несколько витков.

14 — 15. Иногда на коллекторе чернеют только отдельные пластины. Это может объясняться неисправностью 26, то-есть тем, что как раз между этими пластинами выступила наружу слюда и вызывает усиленное искрение. Полезно прочистить промежуток между ними наждаком или карборундом, отметить их кернером, потом опять пустить машину в работу. Если после этого почернеют те же самые пластины, то это верный признак того, что в подведенной к ним якорной цепи сопротивление усилилось (неисправность 14), а может быть даже возросло до бесконечности, то есть, что в данной якорной цепи произошел разрыв (неисправность 15). Первое предположение вероятнее, если искрение не очень сильно, второе — если искрение сильно.

14. Сопротивление якорной цепи может усиливаться почти исключительно в местах ее соединения с пластинами. Эти места и надо проверить. Если соединения сделаны на „петушках“ (болтах), то надо посмотреть, подтянуты ли петушки у почерневших пластин; если соединение сделано пайкой, то нарушение спая видно на глаз.

15. Разрыв в якорной цепи тоже происходит чаще всего в местах ее соединения с пластинами, и проверить это предположение надо так же, как в случае 14. Если оно оказывается неверным, то можно заподозрить разрыв в одном из проводников цепи.

И тот и другой разрывы можно точно обнаружить индуктором или гальваноскопом. По разорванной цепи ток из такого прибора пройти не может, и значит, когда этот прибор присоединен к пластинам разорванной цепи, его стрелка стоит на нуле.

Эти же неисправности можно обнаружить посредством устройства, представленного на рис. 21. Вольтметр, приложенный к пластинам разорванной цепи, покажет почти пол-

ное напряжение источника тока, тогда как на пластинах неповрежденных цепей он будет показывать небольшое напряжение в соответствии с их небольшим сопротивлением.

16. Перегруженность машины, вызывающая искрение, видна из показаний амперметра. На щитке всегда указана сила тока, на которую машина рассчитана, и если амперметр показывает бóльшую силу тока, значит, она перегружена.

Остается только определить причину перегрузки.

Всего естественнее предположить, что это — перегрузка естественная, что к динамомашине приключено слишком много приемников тока или что электродвигатель вынужден совершать слишком тяжелую механическую работу.

Но возможно и то, что не весь ток, вырабатываемый динамомашиною, потребляется приемниками тока (лампами, электродвигателями и т. д.), что из-за плохой изоляции в сети происходит „утечка“ тока в землю. Однако, как бы скромно ни была оборудована электрическая станция, на ее распределительной доске всегда есть какой-нибудь прибор, — хотя бы состоящий просто из ламп накаливания, — который указывает состояние изоляции установки. Поэтому всегда известно, происходит ли утечка в землю и ею ли объясняется перегрузка динамомашины.

Возможно также, что не вся механическая работа электродвигателя полезна, что часть ее уходит на преодоление вредных трений, которые можно устранить. Но такое вредное трение всегда обнаруживается в чрезмерном нагреве подшипников. Если наощупь подшипники не очень греются, если вообще можно, не обжигаясь, прикладывать к ним руку, то можно сказать наверное, что электродвигатель перегружен просто потому, что на него возложена непосильная полезная работа.

17. Если ток усилился потому, что мощность, развиваемая динамомашиною, осталась прежнею, а напряжение

на ее зажимах понизилось, то это прямо видно по показаниям вольтметра. Положение рычага на шунтовом регуляторе скажет нам, потому ли это произошло, что из цепи возбуждения не выведено достаточно сопротивления. Если не в этом заключается неисправность, то надо проверить число оборотов.

2. Чрезмерное нагревание.

Во время работы машины постоянного тока измерять температуру можно только у ее магнитных катушек, да и то не при всякой конструкции станины.

Неравномерное их нагревание позволяет, как мы видели, распознать неисправность 11 (короткие замыкания в магнитных катушках).

Зато, остановив машину, полезно сейчас же измерить термометром температуру магнитных катушек, якорной обмотки и коллектора. При этом следует завернуть ртутный шарик термометра в листок оловяной фольги (станиоля), чтобы он лучше прилегал к нагревшемуся месту машины и чтобы ему лучше передавалось тепло от нее, и прикрыть его ватой, чтобы он не охлаждался снаружи.

Чтобы судить о том, чрезмерно ли нагрелась та или иная часть машины, надо знать температуру в помещении (ее измеряют термометром на расстоянии одного метра от машины и на ее полувысоте) и вычитать ее из показаний термометра. Если, например, температура в помещении $= 25^{\circ} \text{Ц}$, а температура якорной обмотки $= 75^{\circ} \text{Ц}$, то повышение температуры, то есть нагревание обмотки, составляет 50°Ц . Это еще допустимое нагревание для всякого рода обмоток, на него их изоляция рассчитана, но свыше этого предела допустимо нагревание еще на 10 или 15° только для обмоток с особенно теплостойкою изоляцией. Таким образом, когда термометр показывает нагревание какой-нибудь об-

мотки или коллектора выше 60°Ц , то это такой же признак неисправности машины, как искрение.

Когда нагревание якоря или коллектора наблюдается одновременно с искрением, то всего естественнее предположить, что оба явления вызываются одною и тою же причиною. Однако, если удастся установить, какая именно часть якоря или коллектора нагрелась особенно сильно, то это помогает иногда распознать и самую неисправность и место, где она произошла. По этому способу можно, например, обнаружить, какая часть якорной обмотки замкнулась накоротко (см. неисправность 13, стр. 45 и сл.).

С другой стороны, признак нагревания часто заменяет собою признак искрения, когда машина построена настолько хорошо, что в искрении неисправность проявиться не может. Если же вообще машина способна искрить, но не искрит, а коллектор все-таки нагревается, то в этом всего легче заподозрить механическую неисправность, а именно:

18. Слишком сильный нажим щеток на коллектор, то-есть усиленное их трение о коллектор, которое превращается в теплоту. Дополнительным признаком, который это подтверждает, является скрип и даже визг щеток.

Когда, кроме якорной обмотки, чрезмерно нагревается и обмотка полюсов, а искрения не наблюдается, то надо посмотреть:

19. Не понижена ли скорость машины. Ее измеряют счетчиком оборотов или тахометром

Если скорость не понижена, то остается только предположить, что

20. Магнитные катушки по ошибке соединены между собою не последовательно, а параллельно. Проверить это легко надо только осмотреть места их соединения.

3. Бессилие машины.

Некоторые из болезней, обессиливающих машину, представляют собою всего лишь особо острую форму тех болезней, которые вызывают ее неправильную работу. А иногда даже это в обоих случаях одна и та же болезнь, только в первом случае она произошла во время остановки машины и мешает ей возобновить работу, а во втором — произошла во время работы и отражается на ее правильности. Поэтому и способы распознавания неисправностей в обоих случаях зачастую одинаковы, как мы это сейчас увидим.

21. Если остаточный магнетизм в полюсах уничтожен, то они совсем теряют способность притягивать куски железа (например, гаечный ключ) и поднесенная к ним магнитная стрелка не дает никакого отклонения.

По какой причине остаточный магнетизм исчез, — это по большей части выяснить легко, если знать, в каких условиях машина работала или была пущена в работу до этого повреждения. Но выяснять эту причину — пустое дело. Какова бы она ни была, надо восстановить остаточный магнетизм и при этом понаблюдать за тем, чтобы не произошло неисправностей 21г или 21д, то есть чтобы направление нового остаточного магнетизма соответствовало полярности, которую в каждом полюсе будет создавать его магнитная катушка, и направлению, в котором будет вращаться машина (см. стр. 24 — 27).

22. Неправильное чередование полюсов уже рассмотрено под номером 12. См. стр. 43.

23. Слишком малое число оборотов рассмотрено под номером 17а. См. стр. 49.

24. Неправильное положение щеток рассмотрено под номером 9. См. стр. 40.

25а. Случай, когда из цепи возбуждения выведено мало сопротивления, рассмотрен под номером 17.

256. Неисправности, сводящиеся к ослаблению контакта между щетками и коллектором, рассмотрены под номерами 1 — 7.

26. Чтобы проверить, не по вине ли внешней сети теряет машина напряжение, достаточно отключить ее от внешней сети. Если при разомкнутом главном рубильнике машина возбуждается, значит, действительно неисправность коренится во внешней сети.

Нередко случается, что после остановки какого-нибудь электродвигателя, приключенного к сети, его реостат не был переведен в пусковое положение, так что сеть замкнута на якорную обмотку двигателя, у которой сопротивление очень слабо. Для небольшой динамомашины это уже может означать чрезмерную нагрузку. Если такая догадка возникает, нужно ее проверить.

Возможно и то, что во внешней сети дурная изоляция создает сильную утечку в землю.

Такое предположение проверяется при помощи „индуктора“ или „гальваноскопа“.¹

Предварительно разомкнув главный выключатель динамо, отделив от линии все приемники тока в установке, но за-

¹ С прибором, который называется „гальваноскопом“, мы уже познакомились на стр 43 „Индуктор“ отличается от него тем, что источник тока, находящийся в нем, это—не батарея сухих элементов, а маленькая магнетомашина, дающая напряжение приблизительно такое же, на какое рассчитана исследуемая сеть или машина. Кроме того, индуктор бывает обыкновенно снабжен не гальваноскопом, у которого собственное сопротивление очень слабо, а вольтметром (гальванометром) с очень большим собственным сопротивлением. Благодаря этому индуктор пригоден для измерения больших сопротивлений, каково сопротивление исправной изоляции, тогда как гальваноскоп служит только для обнаружения грубых изъянов в изоляции — очень низкого ее сопротивления или нулевого (в случае короткого замыкания), или для приблизительного измерения малых сопротивлений.

мкнув выключатели во всех ответвлениях сети, индуктор (или гальваноскоп) присоединяют сперва обоими его зажимами к тем зажимам главного выключателя, к которым подведена внешняя сеть. Если гальванометр показывает, что ток по ней пробегает, то надо таким же образом исследовать отдельные ответвления внешней сети — сперва главные, потом вторичные и т. д. Идя таким путем, нельзя в конце концов не найти места короткого замыкания.

Но может оказаться, что на зажимах внешней сети у главного выключателя гальванометр индуктора стоит на нуле, а динамо все-таки не возбуждается при замкнутом, и возбуждается при разомкнутом главном выключателе. Тогда остается только предположить, что короткое замыкание произошло между одним из проводов внешней сети, который заземлился, и одною из точек в машине, которая пришла в сообщение с корпусом.

Чтобы узнать, который из внешних проводов заземлился, один из зажимов индуктора заземляют, а другой соединяют сперва с одним, потом — с другим внешним проводом; гальванометр даст отклонение только в одном из этих случаев, — в том, когда ток из индуктора получит возможность уйти в землю и вернуться через испытуемый провод. Этим будет доказано, что испытуемый провод заземлен. Чтобы затем найти точное место его заземления, производят такое же испытание индуктором в каждом участке линии между двумя выключателями, предварительно разомкнув их и тем самым отделив участок от линии.

Далее нужно найти место поврежденной изоляции в самой машине, но это уже относится к неисправности 27.

Теперь допустим, что машина не возбуждается даже при разомкнутом главном выключателе. Заподозрить тем не менее, что причина тому — короткое замыкание во внешней сети, — это значит предположить, что еще до главного выключателя внешние провода соединились накоротко между

собою непосредственно или через землю. Бывают в редких случаях такие условия прокладки этих проводов, при которых и это предположение правдоподобно. Проверить его индуктором (или гальваноскопом) можно как выше, но для этого надо отделить внешние провода от машины.

27. Более вероятно, что внешняя цепь замкнулась на коротко через корпус машины вследствие влажности или повреждения ее изоляции. Особенно это вероятно в том случае, если уже установлено, что один из внешних проводов заземлен, потому что тогда изоляции машины нужно было испортиться только в одной точке, чтобы через землю и корпус мог проходить ток короткого замыкания.

Чтобы это проверить, надо прежде всего отделить от сети и друг от друга те три части машины, в которых могло случиться повреждение изоляции, то есть магнитную обмотку, якорную обмотку и щеткодержатели. Для отделения этих последних от коллектора достаточно убрать щетки или подложить под них на коллектор надежную изоляцию, например, сухие деревянные дощечки. Затем соединяют один зажим индуктора с корпусом машины (например, с болтом фундаментной плиты), а другой поочередно с концом магнитной обмотки, с коллектором, с каждым щеткодержателем. Гальванометр своим отклонением покажет, через какую часть машины замкнулся ток, пройдя через корпус, иными словами, в какой части машины изоляция от корпуса повреждена.

28. Короткое замыкание одного или нескольких витков в якорной обмотке уже рассмотрено под номером 13. См. стр. 45 и сл.

29. Разрывы в якорной обмотке рассмотрены под номером 15, см. стр. 48.

30. Разрыв в магнитной цепи весьма просто распознается посредством индуктора или гальваноскопа. Если приложить его к разорванной цепи, гальванометр не

даст отклонения. Весьма часто разрыв происходит в одной из спиралей шунтового регулятора. Поэтому, убедившись, что цепь возбуждения разорвана, следует прежде всего проверить индуктором, соединив его зажимы с зажимами шунтового регулятора, не в этом ли регуляторе произошел разрыв.

31. Разрыв в одной из спиралей пускового реостата определяется при помощи индуктора, как в случае 30. Остальные причины, по которым может случиться, что ток не будет проникать в якорную обмотку электродвигателя, распознаются так просто, что не заслуживают здесь внимания.

32. Ток не проникает в шунтовую обмотку, когда пусковой реостат неправильно включен. Правильность его включения проверяется по схеме или же на основании следующего простого правила, соблюденного на рис. 15.

Один полюс сети соединяется непосредственно с одним зажимом якорной и одним зажимом шунтовой обмотки, другой полюс подводится к пусковому реостату и здесь разветвляется так, чтобы второй зажим шунтовой обмотки при включении оказался под полным напряжением сети, а ко второму зажиму якорной обмотки добавлено было полностью пусковое сопротивление.

33. Перегрузку при пуске в ход указывает амперметр. О ней же часто свидетельствует перегорание предохранителей.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

Об устранении неисправностей в машине постоянного тока мы будем говорить не в том порядке, в каком их сначала описали, а потом учили распознавать.

В самом деле, многие из них таковы, что без всяких объяснений понятно, как их устранять.

Если, например, щетки стоят не на месте, то ясно, что их нужно поставить на место; если динамо перегружена, то, очевидно, что нужно из сети выключить часть приемников или пустить в работу еще одну динамо, и так далее.

К таким болезням, лечение которых самоочевидно и легко выполнимо на месте установки без разборки машины, принадлежат неисправности 6б, 8, 9, 12, 14, 15а, 16, 17, 19, 20, 22, 23, 24, 25а, 26, 31, 32 и 33.

Есть и такие болезни у машины, лечение которых хоть и самоочевидно, но на месте установки затруднительно или даже невыполнимо без ее разборки. Таковы разрывы обмоточных проводов, повреждение их изоляции и повреждение изоляции между коллектором и втулкой, то-есть неисправности 11а, 13а, 15б, 27а, 28а, 29 и 30.

Их устранение заключается в перемотке машины или в более или менее полном ее ремонте, а об этом говорить здесь не место.

Наша задача—описать только текущий, мелкий ремонт машины, рассмотреть только те приемы лечения, которые, с одной стороны, не самоочевидны, а с другой—осуществимы на месте установки.

Эти приемы, в сущности, сводятся к правильному уходу за машиной, к устранению тех мелких неисправностей, которые с течением времени неизбежно возникают в ней, как и вообще в каждом механизме или организме, просто потому, что он живет и работает.

Из числа этих неисправностей мы, покамест, исключим те, которые имеют своим происхождением чисто механические причины, а именно расшатанность машины или износ подшипниковых вкладышей. Их устранение будет рассмотрено в конце этой книги; к таким неисправностям относятся случаи 5а, 6а, 7а, 10.

Таким образом, нам остается здесь рассмотреть только устранение неисправностей 1, 2, 3, 4, 5б, 6б, 7б, 11б, 13б, 18, 21, 25б, 27б, 28б.

Они естественно распадаются на три группы, если иметь в виду, что:

1) коллектор и щетки постепенно загрязняются и срабатываются, — отсюда неисправности 1, 2, 3, 4, 18 и 25б;

2) обмотки во время транспорта и простоя машины в сыром помещении пропитываются влагою и нуждаются в просушке, — отсюда неисправности 11б, 13б, 27б, 28б;

3) остаточный магнетизм может быть утрачен машиною, — отсюда неисправность 21.

В таком порядке мы их и рассмотрим.

1. Уход за щетками и коллектором.

(Неисправности 1, 2, 3, 4, 18, 25б.)

Угольные щетки нужно прежде всего тщательно пришлифовать к коллектору. Для этого их сначала обрабатывают

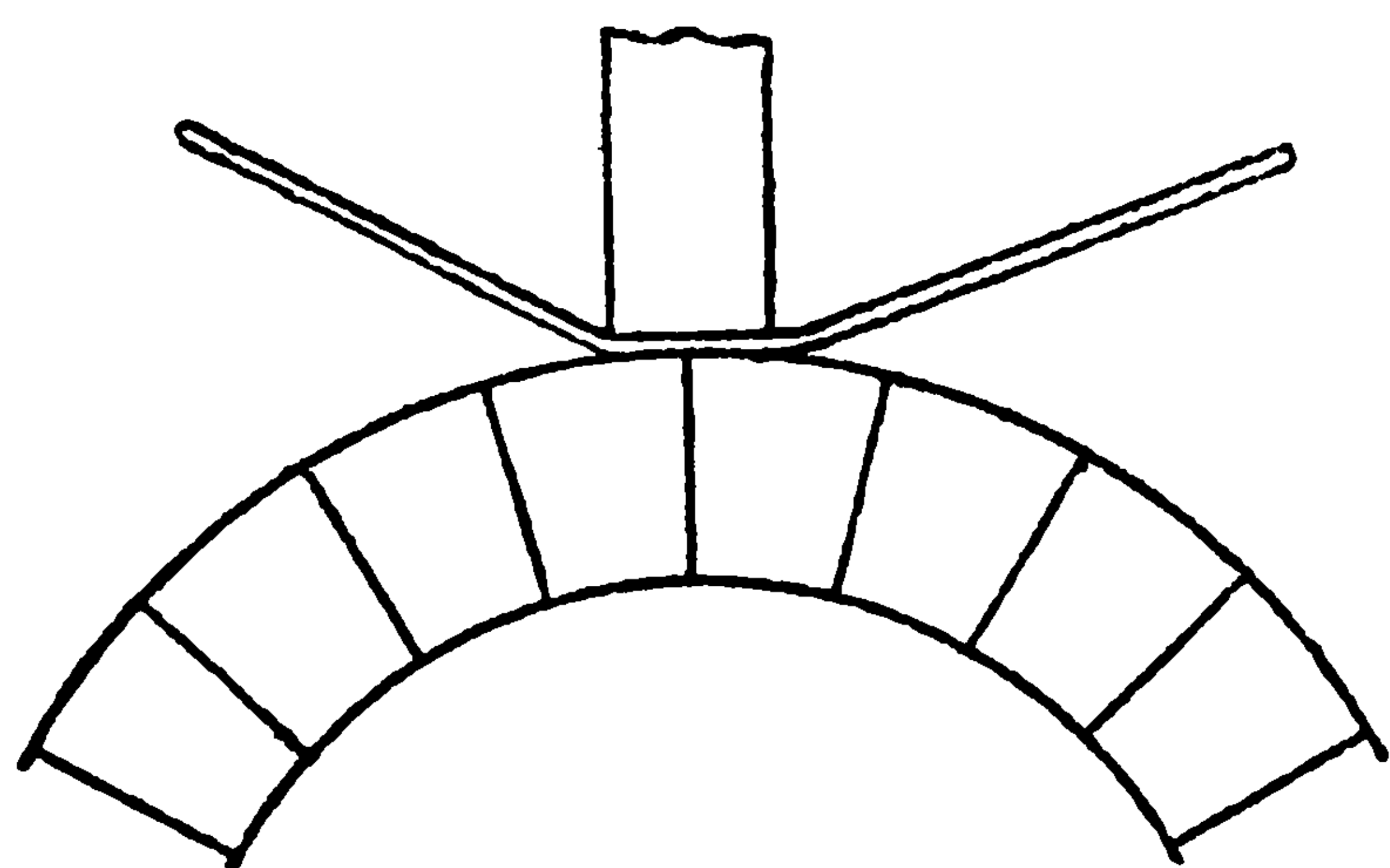


Рис. 22. Неправильная шлифовка щетки

напильком. Затем, когда они вставлены в щеткодержатель, между ними и коллектором прокладывают полоску стеклянной или наждачной бумаги (или полотна), зернистой стороной обращенной к щеткам так, чтобы она прилегала по довольно большой дуге к ок-

ружности коллектора, и водят ею по коллектору взад и вперед, опиливая щетки до тех пор, пока их поверхность прилегания в точности не совпадет с поверхностью коллектора. При этом было бы неправильно держать „шкурку“ как на рис. 22. Правильное ее положение показано на рис. 23. Сорт применяемой наждачной или стеклянной бумаги выбирается соответственно твердости щеток. Но для окончательной пришлифовки рекомендуется еще протереть щетки стек-

лянной (не наждачной) бумагой № 00, пока на их поверхности не исчезнут все следы трещин. Так как щетки сидят с небольшим зазором в держателях, то в том случае, когда машина предназначена для определенного направления вращения, стеклянная бумага должна под конец притирать щетки только в направлении вращения. Чтобы ее вынуть, нужно щетки немного приподнять. После шлифовки нужно тщательно сдуть угольную пыль с коллектора. Обмедненная часть щетки ни в коем случае не должна касаться коллектора: она должна находиться от него на расстоянии не менее 5 мм.

Щеткодержатели должны так сидеть на болтах щеточного хомута, чтобы иметь возможность слегка поворачиваться. Щетка должна быть плотно всажена в щеткодержатель, чтобы иметь с ним надежный контакт и чтобы сопротивление перехода то-

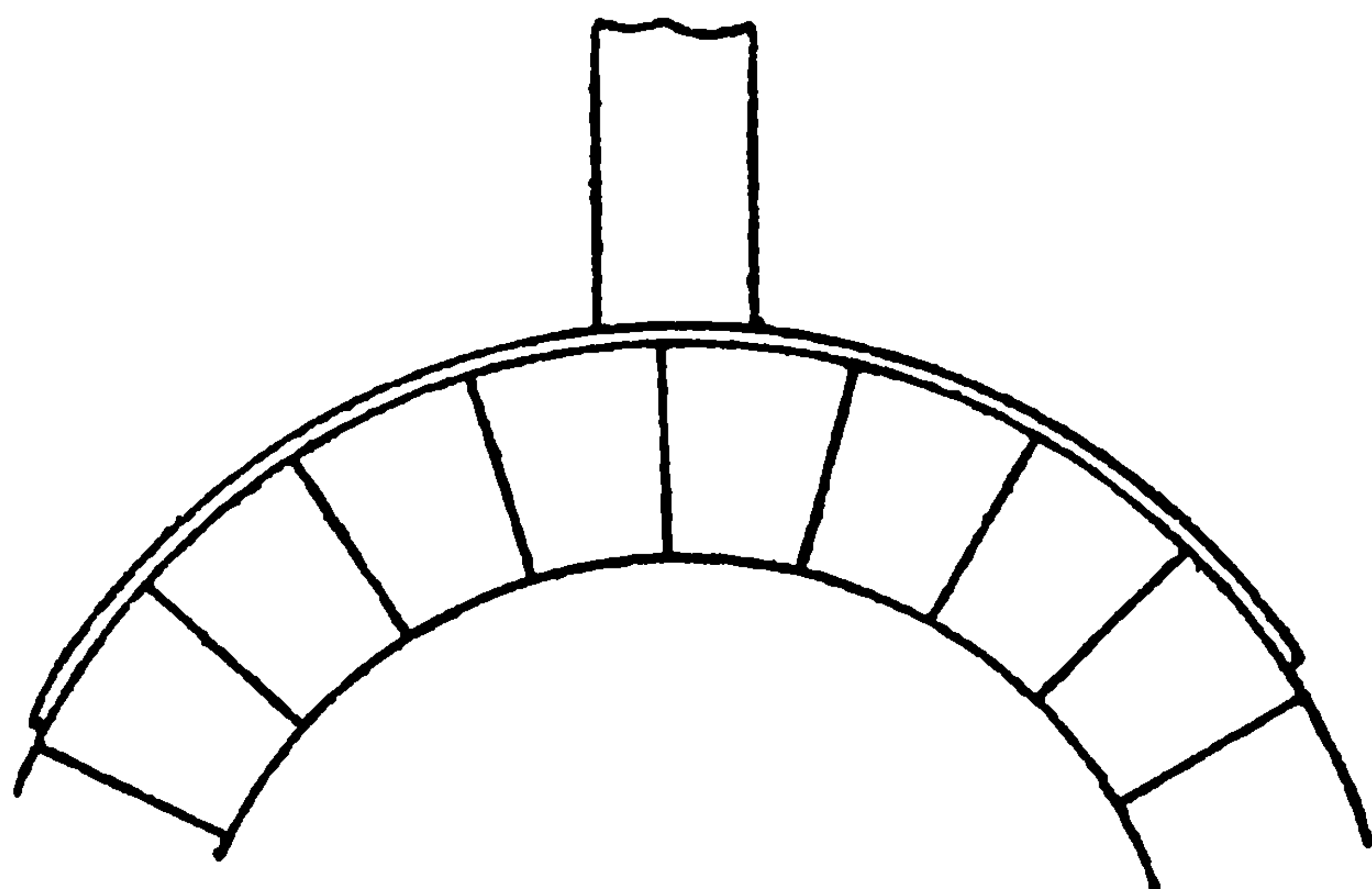


Рис. 23. Правильная шлифовка щетки.

ка со щетки на держатель было как можно меньше. Для этой-то цели часто применяются обмедненные угольные щетки. При замене изношенных щеток новыми, необходимо следить за тем, чтобы новые принадлежали к тому же сорту, что и старые — к сорту, предуказанному поставщиком машины. Часто искрение коллектора объясняется тем, что щетки взяты неподходящего сорта. Вообще говоря, при повышенных напряжениях предпочтительны более твердые, при пониженных — более мягкие щетки. Новые щетки нужно пришлифовывать к коллектору, как указывалось выше.

Если машина снабжена металлическими щетками, изготовляемыми либо из сетки, либо из медных, латунных или томпаковых полосок (с некоторыми примесями, оказываю-

щими на коллектор смазывающее действие), то их поверхность соприкосновения с коллектором должна быть совершенно ровной. По мере того, как нити раздергиваются или полоски расщепляются, их нужно спиливать или обрезать ножницами. Ежедневно следует щетки немного перемещать вдоль щеточного штифта, чтобы они прилегали к коллектору не все время в одних и тех же местах, так как он должен по всей своей ширине изнашиваться равномерно. Не меньше одного раза в неделю щетки рекомендуется промывать бензином и пускать вновь в работу только после тщательной просушки.

Коллектор нужно содержать в образцовой чистоте. Мелкую пыль, образуемую износом щеток, нужно удалять с него

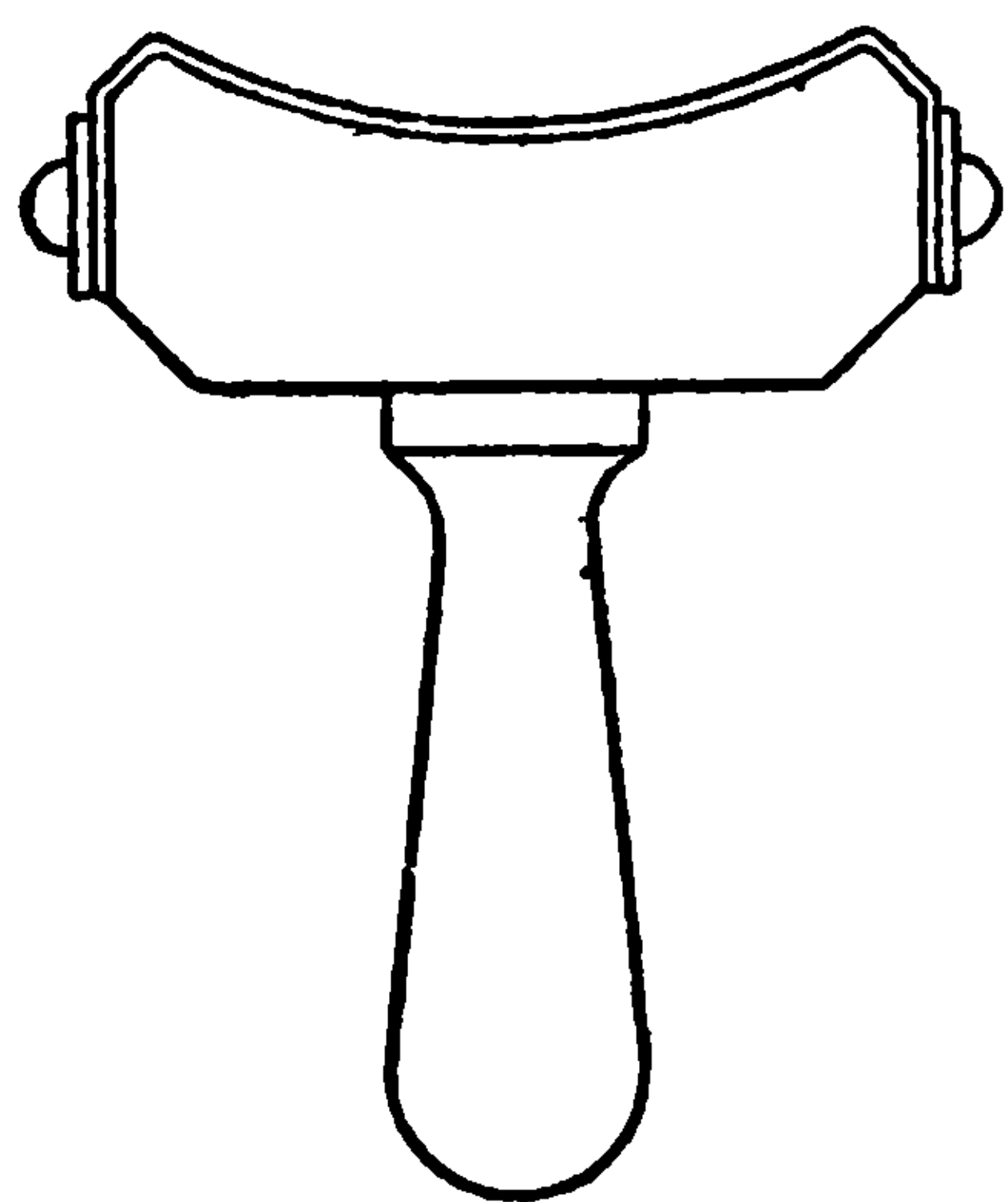


Рис. 24. Шаблон для шлифовки коллектора

каждый день. Он должен блестеть и не утрачивать своей политуры. Для этого его следует почаще протирать на ходу чистыми тряпками, а на первых порах полировать тонкой стеклянной бумагой, приподняв щетки. Однако, бумагу нельзя прижимать к коллектору рукою: для этого пользуются деревянным шаблоном с рукояткою (рис. 24), имеющим кривизну и ширину коллектора. С одного конца шаблона рекомендуется прорезать желобок,

где бы собиралась отделяющаяся при полировке металлическая пыль. Тогда конец шаблона, где сделан желобок, нужно держать повернутым в сторону вращения коллектора. При полировке рекомендуется слегка увлажнить бумагу вазелином, чтобы медная пыль не проникала в машину. Полировку следует продолжать до тех пор, пока поверхность не будет блестяще отполирована и не освободится от всех трещин. Затем слой жира следует удалить с коллектора посредством увлажненной бензином тряпки, и дать коллектору сделать несколько оборотов под совершенно сухою, чистою тряпкой. Медная

пыль и стеклянные осколки должны быть сдуты и стерты с угольных щеток, и только после этого их можно опять наложить на коллектор. В дальнейшей работе сами щетки принимают на себя полировку коллектора.

Чтобы уменьшить износ коллектора, рекомендуется от времени до времени прикасаться к нему на ходу слегка увлажненной чистым вазелином полотняною тряпочкой, но делать это можно только при нагретом состоянии коллектора и не слишком часто, иначе щетки загрязняются.

Если по какой-либо причине, будь то короткое замыкание в сети или оплошность в обслуживании, коллектор начнет искрить или вообще работать неисправно, так что это отразится на его чистоте, полировке или строго цилиндрической форме, то коллектор нужно немедленно отшлифовать, как указано выше, стеклянною или, что еще лучше, карборундовой бумагой. Если причина искрения — выступление слюды над пластинами, то счистить ее значительно легче карборундовой бумагой, нежели стеклянною. При этом надо иметь в виду, что слюда выступает более заметно только спустя некоторое время после остановки машины, когда металл сжимается от охлаждения. Тогда ее счистить карборундом или выскоблить удобно, при нагретом же состоянии коллектора — и затруднительно и неразумно, оттого что заодно приходится снять с коллектора слой меди. Но и карборунду слюда не всегда поддается. В этом случае, а также при более значительных повреждениях коллектор нужно обточить. Ни в коем случае недопустимо опиливать его напильком, так как его поверхность перестает быть тогда цилиндрической, и возникает сильное искрение.

Если искрение происходит вследствие химического разложения пластин, то нужно чистить коллектор карборундовой бумагой перед каждым пуском машины в ход, а еще лучше поставить вместо этой машины другую, закрытого типа с вентиляцией.

Маленькие якоря ставятся для обточки коллектора на токарный станок; для обточки же больших коллекторов существуют особые суппорты, укрепляемые непосредственно на машине. Обточку нужно производить осторожно и следить за тем, чтобы медные частицы, вдавившись в изоляцию, не создали соединения между отдельными пластинами. Стружку следует снимать самую небольшую, применять очень острые резцы. Подача должна быть не больше $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{10}$ мм на один оборот. Якорь следует при этом вращать медленно, так чтобы окружная скорость его во всяком случае не превышала 15 метров в минуту.

После обточки нужно опять отшлифовать коллектор стеклянной бумагой. Прежде чем демонтировать коллектор для обточки, необходимо особыми отметками снабдить места соединений между коллектором и якорем, чтобы затем, при сборке, восстановить эти соединения, исполняемые либо на винтах, либо пайкою.

Пайку можно поручать только сведущему лицу. Между винтами очень легко оседает пыль и может создать короткое соединение между отдельными пластинами. Об удалении пыли нужно поэтому особо заботиться. От времени до времени следует проверять, не ослабли ли отдельные винты, и подтягивать их. Нагревание винтов свидетельствует об их слабине.

Если вследствие износа коллектор слегка „бьет“, т. е. стал немного нецилиндричен, то его следует отшлифовать мелкозернистым наждачным кругом, приводимым во вращение механически или электрически, при чем якорь и наждачный круг должны вращаться в одну и ту же сторону, чтобы в месте соприкосновения бежать навстречу друг другу. Если, однако, нецилиндричность коллектора значительна, то его нужно обточить, как указано выше, поскольку это еще допускает толщина пластин. Но так как шлифовка наждачным кругом не требует таких сложных приготовлений, как обточка, и менее опасна для коллектора, то ее следует, в меру возможного, предпочитать обточке.

2. Просушка машины

Если в случае неисправностей 116, 136, 276, 286, индуктор показывает дурное состояние изоляции у машины, то ее нужно просушить.

Для сушки достаточно бывает иногда продержать машину известное время в хорошо отапливаемом помещении. При этом надо позаботиться о надлежащем отводе сырого воздуха (вентиляции) и о том, чтобы все части машины грелись равномерно. Поэтому полезно вращать машину во время сушки. Для отопления пригодны радиаторы водяного, парового отопления (только бы они были плотны), электрические и всякие другие печи; нехороши только открытые, „пышащие жаром“ печи. Машина должна находиться как можно ближе к очагу тепла, однако надо следить за тем, чтобы ни одна ее часть не нагревалась больше, чем на 90°Ц . Правильная температура, — это та, которую „терпит рука“, приложенная к машине.

Смотря по величине машины и по влажности обмоток, на такое прогревание уходит от 8 до 24 часов и больше, прежде чем сопротивление изоляции машины достигнет значения, достаточного для пуска машины в работу под нагрузкою. Таким его значением можно считать 100 омов на каждый вольт, например, 22 000 омов при напряжении 220 вольт.

Но иногда требуется в более короткий срок просушить машину. Бывает и так, что ее нельзя перенести в отапливаемое помещение и нельзя окружить нагревательными приборами. Тогда прибегают к сушке машины электрическим током.

Для этого надо устроить так, чтобы по обмоткам проходил ток обычной для них или даже несколько повышенной силы, но пониженного раз в десять напряжения, которое бы

даже дурной изоляции не грозило пробоем. Ведь нагревание обмоток, а значит, и сушка их, — испарение влаги, в них накопившейся, — зависят только от силы тока, а не от напряжения.

Силу тока, высушивающего обмотки, надо, впрочем, урегулировать так, чтобы температура всех частей росла медленно и нигде не превышала 75° . Надо иметь в виду, что когда термометр снаружи показывает 75° , то внутри машины температура подчас превышает 100° , а водяной пар тоже способен разрушить внутренние слои изоляции.

Когда сушить приходится электродвигатель, то в распоряжении обычно имеется ток из сети. Да и в том случае, когда в просушке нуждается динамо, можно обычно получать ток от другой динамо или от аккумуляторной батареи. В обоих случаях напряжение этого „постороннего источника тока“ понижают раз в десять посредством добавочных сопротивлений (ламп накаливания, водяного реостата и т. п.) и ставят под него порознь якорную обмотку и обмотку возбуждения. Когда ток пропускают в якорную обмотку, то отключают цепь возбуждения или даже заклинивают якорь между магнитными полюсами деревянными клиньями, а иногда еще, надежности ради, переставляют на несколько пластин вперед щеточное ярмо, — все это для того, чтобы машина не завертелась как электродвигатель. От времени до времени, приостанавливая сушку, проверяют индуктором, достаточно ли уже повысилось сопротивление изоляции.

Когда сушить приходится динамомашину, то можно применить еще и такой способ сушки:

Якорную обмотку замыкают накоротко через обмотку добавочных полюсов; если они имеются, или через другое добавочное сопротивление, включив в эту же цепь амперметр и предохранитель, как на рис. 25. Если машина — компаундная, то возбуждающую обмотку главного тока надо разомкнуть (а не замкнуть накоротко). Шунтовая цепь воз-

буждения тоже остается разомкнутой. Число оборотов медленно повышают и стараются достигнуть надлежащей силы тока в короткозамкнутой цепи передвижением щеточного ярма. Если это не удастся посредством одного только остаточного магнетизма, то магнитные полюса чуть-чуть возбуждают от постороннего источника тока, осторожно перемещая рычаг шунтового регулятора,

Впрочем, если щетки при этом искрят, то от такого способа просушки следует отказаться и обратиться к другому.

3. Восстановление остаточного магнетизма.

(В случае неисправности 21.)

Обычно динамомашинка работает на сеть не одна, а в параллельном соединении с другими или, по крайней мере, с аккумуляторной батареей. Когда такая динамо утрачивает свой остаточный магнетизм, то весьма легко намагнитить наново её полюса током из собирательных шин установки.

Пусть, например, динамо и аккумуляторная батарея соединены по схеме рис. 26. Провод, ведущий к обмотке возбу-

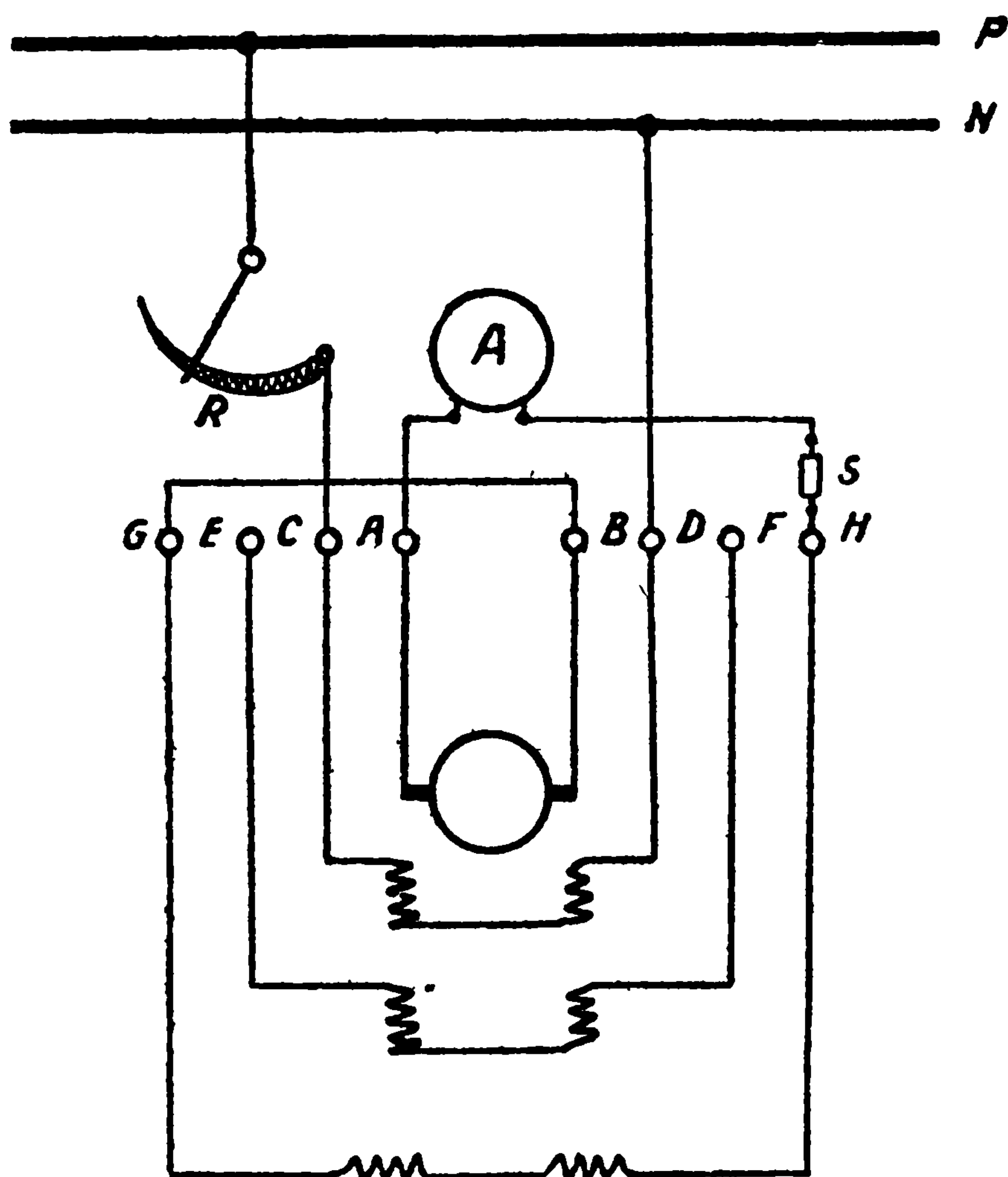


Рис. 25. Просушка машины постоянного тока при коротко замкнутом якоре

- A — амперметр.
- S — предохранитель.
- R — шунтовой регулятор.
- AB — зажимы якорной обмотки
- CD — „ шунтовой „
- EF — „ возбуждающей обмотки главного тока.
- GH — зажимы обмотки добавочных полюсов

ждения через шунтовой регулятор, приключен между минимальным автоматом 2 и собирательной шиной. Значит, достаточно включить рубильник 1, чтобы еще до включения автомата 2, то - есть до включения якоря на шины, по магнитным катушкам прошел ток из батареи и намагнитил полюса в том именно направлении, какое требуется для параллельной работы этой машины с батареей.

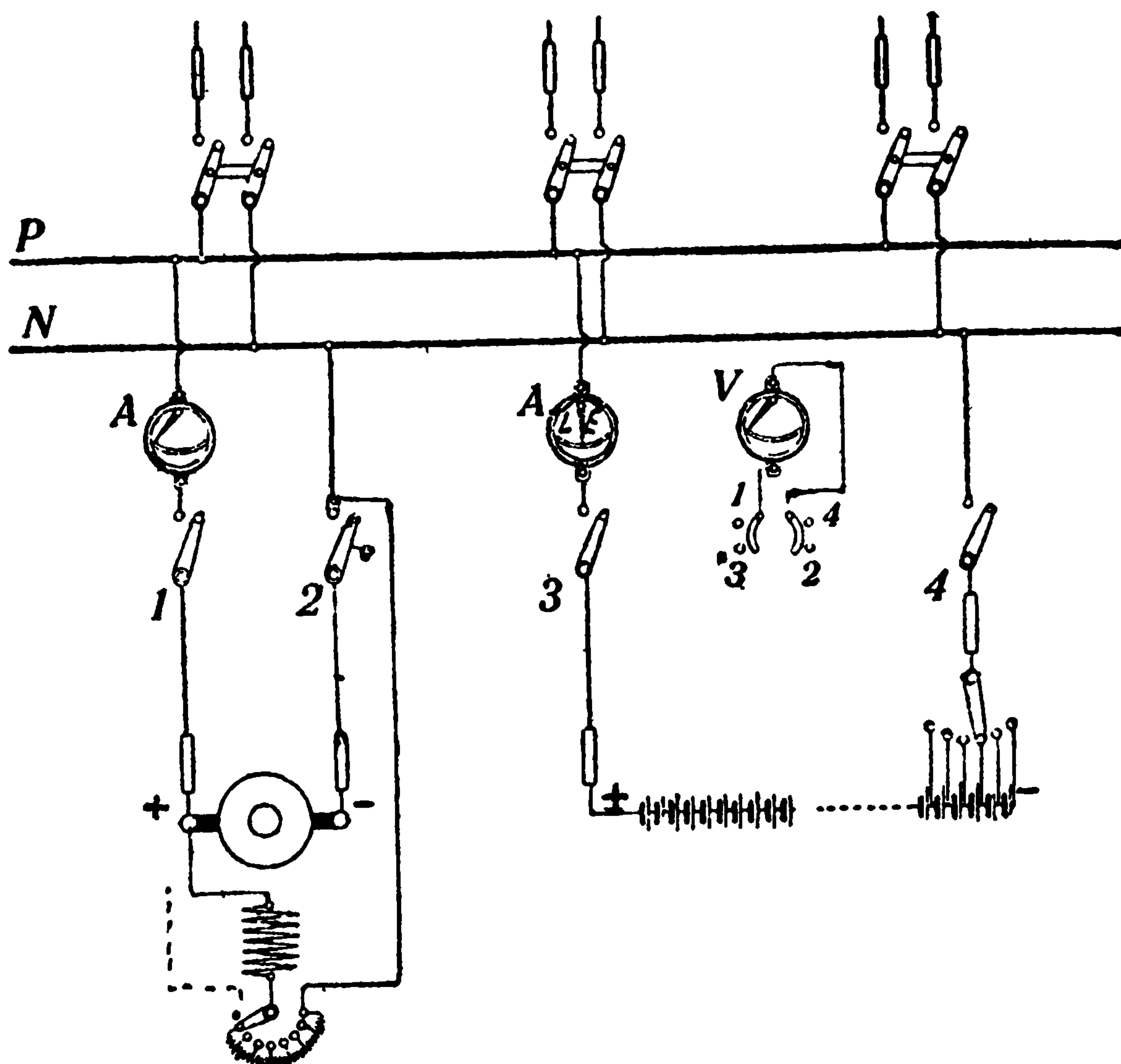


Рис. 26. Шунтовая машина в соединении с аккумуляторной батареей.

Если схема соединений не дает возможности намагнитить машину по этому способу, то нужно приподнять щетки на ее коллекторе и на короткое время включить ее на собирательные шины, а затем перевести постепенно рычаг шунтового регулятора в положение короткого замыкания, так чтобы через обмотку возбуждения прошел полной силы ток. Тем самым машина будет опять-таки намагничена в надлежащем направлении. Если она после этого не возбудится,

то можно предположить только одно: цепь возбуждения включена была не для того направления вращения, в котором машина действительно вращается. Тогда пересоединив концы у обмотки возбуждения (см. стр. 65), надо повторить тот же прием — снова пустить в нее ток из собирательных шин, после чего машина должна непременно самовозбудиться.

Если динамо работает на станции одна, и даже без аккумуляторов, то, повидимому, это—очень небольшая динамо, а тогда для восстановления ее магнетизма достаточно нескольких последовательно соединенных гальванических элементов или аккумуляторов. Их общее напряжение прикладывают к обмотке возбуждения. Если машина после этого не самовозбуждается, значит, опять-таки, ток пробежал по обмотке не в надлежащем направлении. Надо пропустить его по обмотке в обратном направлении. Тогда магнетизм восстановится непременно.

Б. ГЕНЕРАТОРЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

(Однофазные и трехфазные альтернаторы.)

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ОПИСАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

1. Напряжение альтернатора понижено.

Напомним прежде всего, чем отличается альтернатор от динамо постоянного тока по конструкции и по условиям своей работы. Тогда мы увидим, какие из рассмотренных, нами неисправностей, постигающих машину постоянного тока никак не могут угрожать альтернатору.

У генератора переменного тока якорь неподвижен и называется статором. Ток поступает из якоря в сеть через неподвижные зажимы и при этом не выпрямляется. Таким образом, первое и весьма выгодное для этой машины отличие ее от машины постоянного тока заключается в том, что у нее нет вращающегося коллектора. Мы ведь видели, что коллектор является источником многих неисправностей и требует внимательного ухода.

Скорость вращения у альтернатора, это — величина строго определенная. Тут не может быть никакого произвола. Правильное число оборотов у альтернатора, это — то число, при котором он дает требующуюся частоту (число периодов тока в секунду), и эту скорость вращения необходимо поддерживать все время, какова бы ни была нагрузка.

Таким образом, альтернатор не знает также неисправностей, связанных с неправильным числом оборотов.

Наконец, альтернатор не знает самовозбуждения и неисправностей, самовозбуждению препятствующих. Он возбуждается не собственным, а постоянным током, поступающим в магнитные обмотки его вращающегося колеса из постороннего источника — из машины постоянного тока, называемой возбудителем.

С возбудителем может, конечно, произойти любая из неисправностей, рассмотренных выше под номерами 1—30. Некоторые из них могут понизить напряжение на его зажимах или даже уничтожить это напряжение. Тогда возбуждение альтернатора ослабеет или прекратится, он умерит или прекратит свою работу, но сам останется при этом в полной исправности.

Далее, те два контактных кольца и две щетки, которыми обе эти машины соединены между собою, хотя и находятся на валу альтернатора, но могут с таким же правом считаться принадлежностями возбудителя. Искрение этих щеток говорит только об ослаблении контакта между ними и контактными кольцами, но не может свидетельствовать о неисправном состоянии альтернатора.

Правда, нет худа без добра: как ни худо искрение на коллекторе у динамо постоянного тока, оно сигнализирует болезненное состояние машины, побуждает нас исследовать и вылечить ее. Но и у альтернатора есть признак болезненного состояния не менее яркий и даже более общий и надежный. Какая бы болезнь его ни постигла, напряжение на зажимах его, — а если он трехфазный — то на зажимах по крайней мере одной из его трех фаз падает, если даже не вовсе исчезает. Почему этот признак, указываемый просто вольтметром, сопутствует всем расстройствам альтернатора, — это мы сейчас поймем.

Только-что мы установили, что альтернатору не грозят

неисправности, связанные с коммутацией тока (с работой коллектора), с неправильной скоростью и с самовозбуждением. Но если все эти неисправности исключить из того перечня, который мы составили для динамо постоянного тока, то оказывается, что на долю альтернатора остаются только: неправильное включение статорных или магнитных катушек, короткое замыкание и разрыв в цепи статора или в цепи возбуждения.

Этим исчерпывается перечень болезней самого альтернатора. Перечень этот, как мы видим, не в пример короче, чем у машины постоянного тока, и все болезни, которые он содержит, сводятся к тому, что либо магнитное поле, либо проводники, его рассекающие, отчасти или вполне прекращают свое действие.

Но как и у динамо постоянного тока, электродвижущая сила у альтернатора, в каждой его фазе, пропорциональна 1) скорости его вращения, 2) силе магнитного поля и 3) числу действующих в этой фазе проводников, а от нее, от этой электродвижущей силы, зависит напряжение на зажимах каждой фазы альтернатора.

Пока альтернатор не нагружен, это напряжение равно электродвижущей силе. И если при отключенной внешней сети вольтметр показывает, что напряжение упало, значит, — уменьшилась одна из тех трех величин, которым пропорциональна электродвижущая сила. Если же напряжение вовсе исчезло, значит, — одна из этих величин упала до нуля, иными словами: либо возбуждение прекратилось, либо цепь статорной обмотки разорвалась, либо машина остановилась. Но тогда машину постигает уже полное бессилие, о котором мы будем говорить в следующем параграфе.

Об уменьшении числа оборотов альтернатора мы говорить вообще не будем, так как это может произойти только по вине двигателя, вращающего альтернатор, а не вследствие неисправности самого альтернатора.

Остается рассмотреть несколько подробнее неисправности альтернатора, вызывающие в нем ослабление магнитного поля или уменьшение числа действующих проводников. Из их числа одни могут произойти в статорной обмотке, другие — в обмотке полюсного колеса.

Неисправности в статорной обмотке.

1. Одна или несколько катушек статора неправильно включены. Это может случиться только с теми катушками, которые лежат у стыков разъемного статора. Их вставляют и присоединяют к соседним катушкам на месте установки, при сборке статора, и сборщик может допустить такую ошибку. На заводе она почти невероятна.

Электродвижущая сила в каждой неправильно включенной катушке уничтожает электродвижущую силу соседней катушки, потому что направлена против нее, и при этом сама уничтожается, потому что равна ей по величине. Таким образом, эта неисправность поражает бездействием вдвое большее число катушек, чем сколько их неправильно включено.

Пусть, например, в каждой катушке создается электродвижущая сила в 10 вольт, а неправильно включены в одной из фазных обмоток две катушки. Так как фазная обмотка представляет собою ряд последовательно соединенных катушек, то сумма электродвижущих сил в пострадавшей обмотке уменьшается на $2 \times 2 \times 10 = 40$ вольт.

2. Одна или несколько катушек статора замкнуты накоротко вследствие а) влажности изоляции или б) повреждения изоляции в двух точках, соприкасающихся непосредственно или через железо статора. Этот случай совершенно подобен короткому замыканию в якоре динамо постоянного тока. Короткозамкнутые витки выбывают из цепи последовательно соединенных катушек, электро-

движущие силы которых оклаываются, и сумма этих сил уже по этой причине уменьшается. Мало того, в короткозамкнутых катушках, продолжающих вращаться в магнитном поле, по индукции возникает сильный ток короткого замыкания, который их быстро нагревает, доводя их изоляцию до тления (запах гари), и при этом создает свое магнитное поле, противодействующее главному, так что общая электродвижущая сила еще

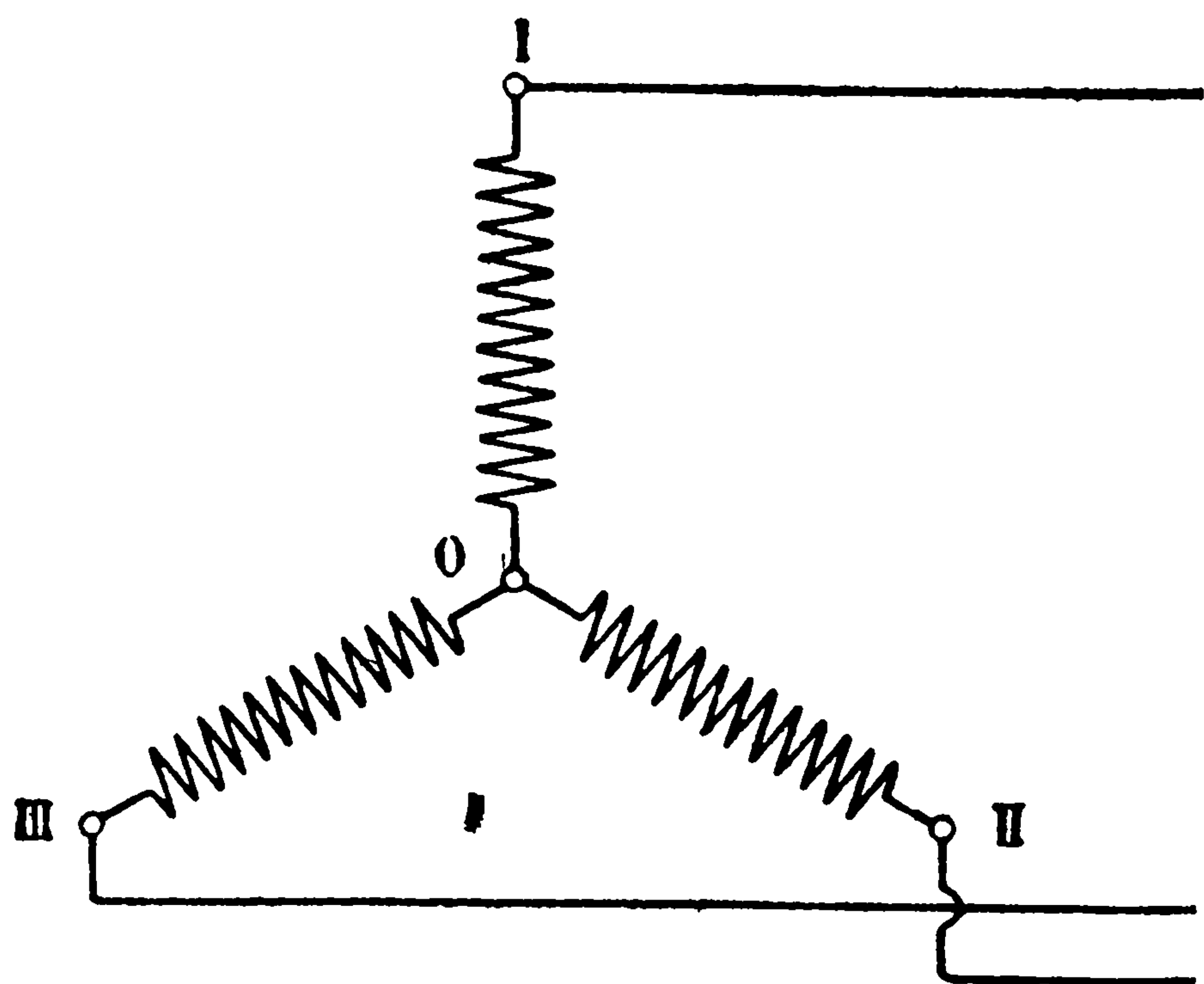


Рис. 27. Соединение статорных обмоток звездю.

больше падает в поврежденной фазной обмотке, да и в уцелевших фазных обмотках понижается, правда, в меньшей мере. Непосредственно могут между собою соприкоснуться и две различные фазные обмотки. Тогда короткозамкнутую цепь образуют несколько ка-

тушек из той и из другой обмотки. И в той и в другой напряжение становится ниже, чем в третьей, которая уцелела, и чрезмерно греются обе соприкоснувшиеся обмотки.

3. Разрыв в одной из статорных обмоток трехфазного генератора. Будь альтернатор однофазным, разрыв его статорной обмотки сразу лишил бы его напряжения. Но у трехфазного альтернатора — не одна, а три статорные обмотки, и соединены между собою эти „фазные обмотки“ либо звездю, как на рис. 27, либо треугольником, как на рис. 28. Достаточно взглянуть на эти рисунки, чтобы понять, что в случае „звезды“ разрыв в одной из обмоток, например, в обмотке 0 III, уничтожает „сопря-

женное" напряжение I II и II III. Приемники, включенные между проводами, отходящими от этих точек, лишаются тока. Но между I и II напряжение сохраняется. В случае же треугольника разрыв в фазе I III не может отразиться на напряжении между I и II и между II и III. Мало того, не отражается он и на напряжении между I и III, но только приемники между отходящими от этих точек проводами будут уже снабжаться током не из поврежденной, а из обеих уцелевших фаз. Фазы I II и II III, приняв на себя нагрузку разорвавшейся фазы I III в дополнение к собственной нагрузке, будут перегружены током и станут чрезмерно греться.

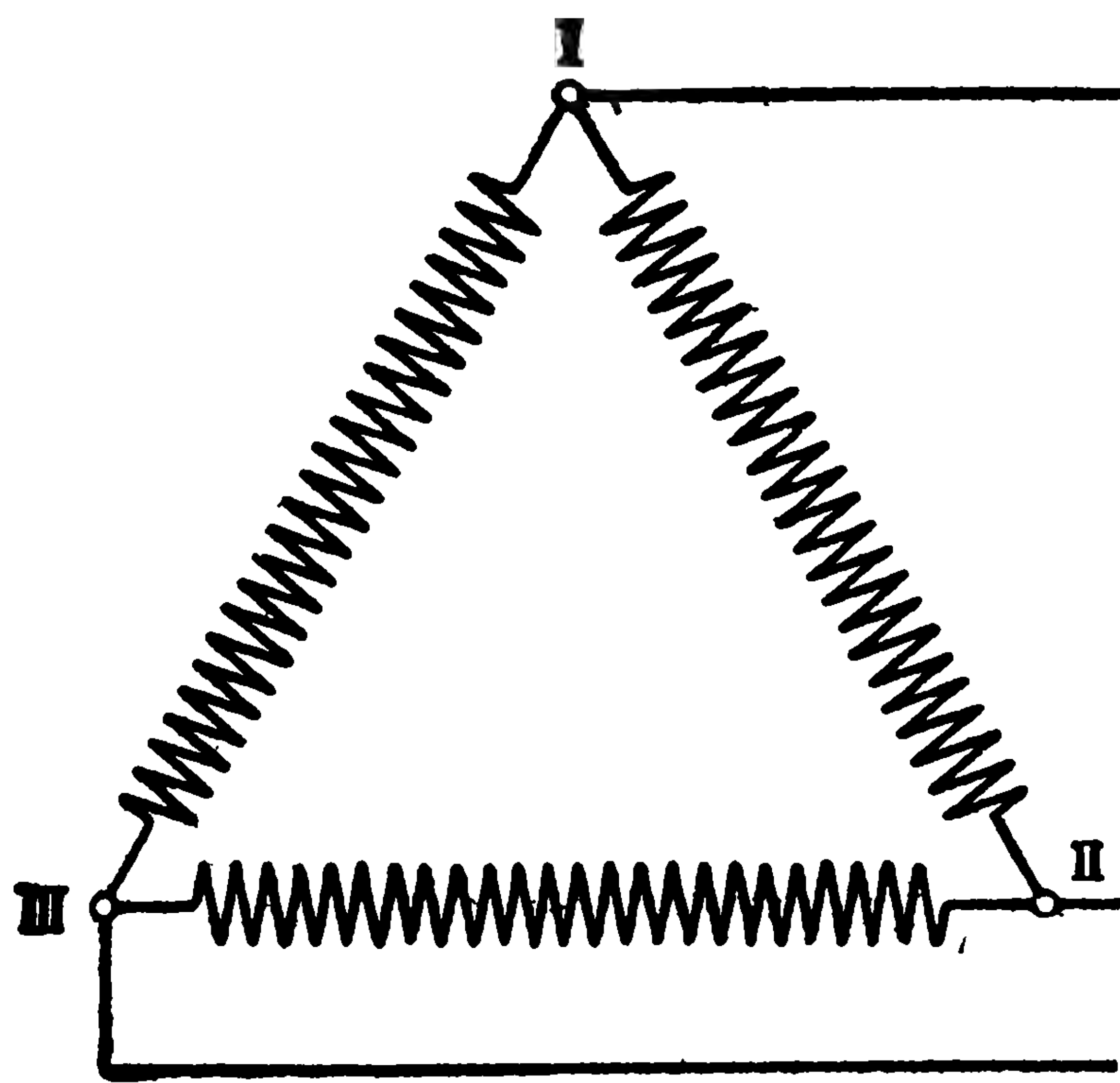


Рис. 28. Соединение статорных обмоток треугольником.

Неисправности в магнитных катушках.

4. Одна или несколько магнитных катушек неправильно включены. Полюса северные и южные неправильно чередуются. Случай—совершенно подобный неправильному чередованию полюсов в машине постоянного тока. Магнитное поле ослаблено, и потому напряжение на зажимах всех фазных обмоток понижено.

5. Одна или несколько магнитных катушек замкнуты накоротко а) вследствие влажности их изоляции или б) вследствие повреждения их изоляции в двух точках, соприкасающихся непосредственно или через железо полюсов,

2. Альтернатор не дает напряжения.

6. Разрывы в статорной обмотке. Мы уже видели, что однофазный альтернатор не дает никакого напряжения когда в статорной обмотке произошел разрыв, и что трехфазный альтернатор, соединенный звездю, не дает напряжения между зажимами I III и II III, когда разрыв произошел в фазе OIII. Остается добавить, что во всех фазах альтернатор не дает напряжения только в том случае, когда при соединении фазных обмоток звездю разрыв произошел по крайней мере в двух из этих обмоток, а при соединении их треугольником — во всех трех.

Но это случай почти невероятный. Поэтому, если вольтметр не дает отклонений ни в одной из трех фаз, то можно быть почти уверенным, что не в статоре заключается неисправность, а в том, что прекратилось возбуждение альтернатора. Это, впрочем, прямо подтверждается тем, что амперметр в цепи возбуждения не дает отклонений.

В прекращении возбуждения явно виноват возбудитель, если вольтметр в цепи возбуждения тоже не дает отклонений. Однако, среди неисправностей, которые могут обессилить возбудитель (см. стр. 52, неисправности 21 — 30), надо особенно иметь в виду неисправность 26, т. е. в данном случае:

7. Короткое замыкание в цепи возбуждения альтернатора. Оно может произойти а) в проводах, б) между контактными кольцами, если повреждена изоляция обоих колец от вала машины и, наконец, в) между всеми магнитными катушками, например, при очень большой влажности их изоляции или вследствие прямого соединения между началом первой и концом последней магнитной катушки.

Если же вольтметр возбудителя показывает правильное напряжение и если магнитный регулятор выведен из цепи

возбуждения альтернатора, то нет сомнения в том, что в прекращении возбуждения виноват:

8. Разрыв в цепи возбуждения. Он мог быть вызван тем, например, что а) нарушился контакт между одним из контактных колец и его щеткою. Случаются также разрывы б) в соединениях между магнитными катушками и даже, — правда, очень редко, — в) в них самих.

3. Чрезмерное нагревание

Как мы видели выше о состоянии альтернатора лучше и проще всего позволяют судить измерительные приборы: вольтметр, переключаемый на любую из фазных обмоток статора, а также вольтметр и амперметр в цепи возбуждения.

Но и чрезмерное нагревание в той или иной части альтернатора является, как и при заболеваниях машины постоянного тока, признаком ценным, хотя и дополнительным к главному — к падению напряжения.

Надо, однако, иметь в виду, что измерять или на ощупь проверять температуру на ходу машины переменного тока совершенно недопустимо. Переменный ток еще опаснее для тела человека, чем постоянный. Пока машина находится под напряжением, особенно — под высоким, прикосновение даже к ее корпусу может иногда оказаться смертельным.

Измерять температуру отдельных частей альтернатора можно только после остановки его, пока он не охладился (относительно измерения температуры см. п. 2 главы II, стр. 50). При этом всего важнее установить, не нагрелась ли какая-нибудь его часть больше, чем остальные.

О каких-либо болезнях иных, кроме перечисленных выше в п. 1 (неисправности 1 — 5), преимущественное нагревание какой-нибудь части альтернатора не свидетельствует, но часто позволяет точнее определить неисправность и место, где она произошла.

Так можно найти:

а) статорные катушки, замкнувшиеся накоротко, потому что они греются больше остальных (неисправность 2);

б) разорвавшуюся фазу статора, потому что она остается холодной, при чем, в случае треугольника, найти ее легко, так как обе уцелевшие фазы греются особенно сильно (неисправность 3), и

в) магнитные катушки, замкнувшиеся накоротко, потому что они остаются холодными, между тем как неповрежденные катушки чрезмерно греются (неисправность 5).

Если же термометр обнаруживает недопустимое повышение температуры во всей машине, а не в отдельных местах статора и полюсного колеса, то это значит, что

9. Альтернатор перегружен током. Впрочем, амперметр еще надежнее термометра свидетельствует о перегрузке обмотки.

4. Искрение щеток.

Искрение щеток на контактных кольцах альтернатора, как мы уже говорили, свидетельствует только о том, что

10. Контакт между щетками и контактными кольцами ослабел. Но это ослабление контакта вредно не только для самих щеток и колец, — потому что искры разрушают их, — оно вредно и для возбуждения альтернатора, оттого что усиливает сопротивление в его цепи и, значит, ослабляет ток возбуждения. Не принадлежа к числу неисправностей самого альтернатора, эта неисправность все же недопустима, и чтобы уметь ее устранять, надо иметь в виду, что она может возникнуть вследствие: а) неудовлетворительного состояния трущейся поверхности у контактных колец или щеток, б) загрязненности колец или щеток, в) слабину нажимных пружин, г) дрожания колец или щеток и д) биения колец (когда они не круглы или плохо центрированы).

РАСПОЗНАВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

Способы распознавания неисправностей у альтернатора мы снова укажем в том же порядке, в каком описали их.

1. Напряжение альтернатора понижено.

1. При правильном включении статорных катушек конец каждой из них должен быть соединен с началом следующей. Поэтому, если возникает подозрение, что катушки у стыков статора неправильно включены, то проверить его весьма легко путем осмотра их соединений с соседними катушками.

2. Если посредством измерения температуры не удалось определить место короткого замыкания в статорной обмотке, то прежде всего надо выяснить, произошло ли оно в пределах одной фазной обмотки или между фазными обмотками, и между какими именно. Это можно было, правда, определить еще до остановки машины, наблюдая разность в показаниях вольтметра на зажимах трех фаз. Но допустим, что эти наблюдения не сделаны или что их желательно проверить.

Прежде всего надо отделить друг от друга все три фазы и соединить зажимы индуктора поочередно и попарно с началом каждой двух фаз. Отклонение гальванометра при одном из этих испытаний покажет, что данные две фазы имеют между собою короткое соединение.

Чтобы проверить затем, не возникло ли оно через корпус, соединяют один зажим индуктора с корпусом, а другой поочередно с началом каждой из соединившихся фаз.

Если же ни при одном из испытаний на короткое замыкание между фазами гальванометр не даст отклонения, зна-

чит, — короткое замыкание произошло в пределах одной только фазы (или каждой из двух или каждой из трех фаз).

Пользуясь затем началом и концом каждой фазы, можно измерить их сопротивление по одному из общеизвестных способов, например, мостиком Уитстона, и по наименьшему сопротивлению узнать поврежденную фазу.

Можно также, присоединив подозреваемую фазу к источнику тока слабого напряжения (к небольшой батарее аккумуляторов или гальванических элементов), измерить вольтметром напряжение на концах каждой ее катушки, чтобы по чрезмерно низкому или нулевому напряжению узнать короткозамкнутые катушки.

3. В какой фазе произошел разрыв, — это весьма просто определяет индуктор или гальваноскоп. Надо только, отделив друг от друга все фазы, присоединить поочередно зажимы индуктора в начале и конце каждой из них. Разрыв находится в той фазе, при испытании которой гальванометр не дает отклонений.

4. Чередование полюсов проверяется, как и у машин постоянного тока, магнитной стрелкою (компасом). Впрочем, в каком бы направлении ни вращать альтернатор, для его работы безразлично, который из каждых двух соседних полюсов — северный и который — южный, лишь бы они были разноименны. Поэтому достаточно просто проследить, — по соединениям между катушками и по направлению, в котором они навиты, — в разных ли направлениях обегает ток каждые две соседние катушки.

5. При коротком замыкании одной или нескольких магнитных катушек сопротивление в цепи возбуждения уменьшается, значит, ток возбуждения усиливается. Это видно по показаниям амперметра, а также по тому, что перегруженный возбудитель греется чрезмерно или что щетки на его коллекторе искрят. Уцелевшие магнитные катушки, обтекаемые усилившимся током, сильнее греются, между тем как

поврежденные катушки остаются холодными. В то же время в статорных катушках, приходящихся против короткозамкнутых магнитных катушек, электродвижущая сила не возникает, значит, напряжение на зажимах всех фаз понижается. По всем этим признакам, наблюдаемым одновременно, весьма нетрудно угадать эту неисправность.

Полюс, на котором сидит короткозамкнутая магнитная катушка, притягивает железо и действует на компас слабее остальных. Чтобы совершенно убедиться, что данная катушка действительно замкнута накоротко, можно поднять щетки, присоединить к кольцам источник тока слабого напряжения, как в случае 2, и приложить вольтметр к началу и концу подозреваемой катушки, — он не даст отклонений; или можно отделить эту катушку от остальных и соединить ее с зажимами гальваноскопа, — стрелка его отскочит в свое крайнее положение. Чтобы узнать, не через корпус ли произошло короткое соединение, один зажим индуктора или гальваноскопа соединяют с корпусом, другой — с одним концом неисправной катушки (отделенной от остальных).

2 Альтернатор не дает напряжения.

6. О разрывах в статорной обмотке см. выше — неисправность 3.

7. Чтобы найти короткое замыкание в цепи возбуждения, надо сперва отделить эту цепь с одной стороны от зажимов возбuditеля, с другой — от контактных колец, для чего достаточно поднять щетки. Если после этого индуктор (или гальваноскоп), приложенный к этой линии с того или другого ее конца, не сможет пропустить по ней ток, иными словами, если гальванометр не даст отклонений, значит, короткое замыкание произошло не на этом участке, а либо между кольцами, либо в обмотке полюсного колеса между двумя точками, из которых одна близка к на-

чалу, а другая к концу этой обмотки, либо, наконец, между одним из колец и одною из этих точек. Все эти подозрения проверяют индуктором, как выше, испытывая изоляцию колец от корпуса машины, а изоляцию подозреваемых точек обмотки — и от корпуса машины и друг от друга.

8. Разрыв в цепи возбуждения определяется при помощи индуктора или вольтметра совершенно так же, как у машины постоянного тока (см. стр. 55, неисправность 30).

3. Чрезмерное нагревание.

9. Надо иметь в виду, что альтернатор может быть перегружен током, не будучи перегружен мощностью. Если ваттметр показывает не больше киловатт, отдаваемых в сеть альтернатором, чем сколько указано на его щитке, то это еще не значит, что недопустимое повышение температуры произошло не по вине чрезмерного тока. Надо еще сравнить число амперов, показываемых амперметрами во всех фазах, с тем числом амперов, которое указано на щитке.

В самом деле, альтернатор рассчитывается на определенную мощность в киловаттах, но с тем, чтобы сдвиг фаз между током и напряжением не превосходил определенной величины. Этот сдвиг фаз определяется, как известно, величиною $\cos \varphi$ (косинус φ). Чем он больше, тем $\cos \varphi$ меньше. А чем меньше $\cos \varphi$, тем больше амперов должен вырабатывать альтернатор, чтобы посылать в сеть при определенном числе вольт определенное число киловатт.

Если, например, сдвиг фаз на самом деле вдвое больше, чем предполагал завод, построивший машину, то при той же мощности $\cos \varphi$ будет вдвое меньше, а число амперов, пробегающих по статорной обмотке, вдвое больше того, на какое обмотка рассчитана. Между тем обмотку греют не киловатты, а амперы, не мощность, а сила тока.

Пусть, например, на щитке однофазного альтернатора мы читаем: 100 киловатт, $\cos \varphi = 0,8$, 125 вольт, 1000 ампер. Если в действительности $\cos \varphi = 0,4$, то, читая на ваттметре 100 киловатт, мы в то же время на амперметре прочтем 2000 ампер, если только обмотка статора не будет сожжена раньше, чем мы успеем это прочесть и убедиться в том, как недопустимо мы перегрузили током наш альтернатор.

4. Искрение щеток.

10. Об ослаблении контакта между щетками и контактными кольцами свидетельствуют искры. Выяснение причины, по которой контакт ослабел, производится так же, как у машины постоянного тока в сходных случаях 1—7 (см. стр. 39 и сл.).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

Пересматривая неисправности 1—10, грозящие альтернатору, читатель без всяких объяснений поймет, в чем заключается их устранение. Очевидно, что неправильно включенные катушки статора или полюсного колеса надо включить правильно, а катушки поврежденные (разорванные или короткозамкнутые) надо заменить новыми или исправить и т. д.

Заметим, впрочем, что когда статорная обмотка или обмотка возбуждения состоит у альтернатора из очень многих катушек, то выход из строя одной из них не играет особенной роли; для того, чтобы напряжение альтернатора после этого не изменилось, нужно только немного усилить возбуждение. Поэтому, в случае такой неисправности можно поврежденную катушку, в виде временной меры, просто убрать и, не заменив ее новой, соединить друг с дру-

гом непосредственно те две катушки, находящиеся по обеим ее сторонам, которые раньше были соединены между собою при ее посредстве. Это, правда, вызывает некоторое неравенство напряжений между отдельными фазами, но временно с ним можно примириться.

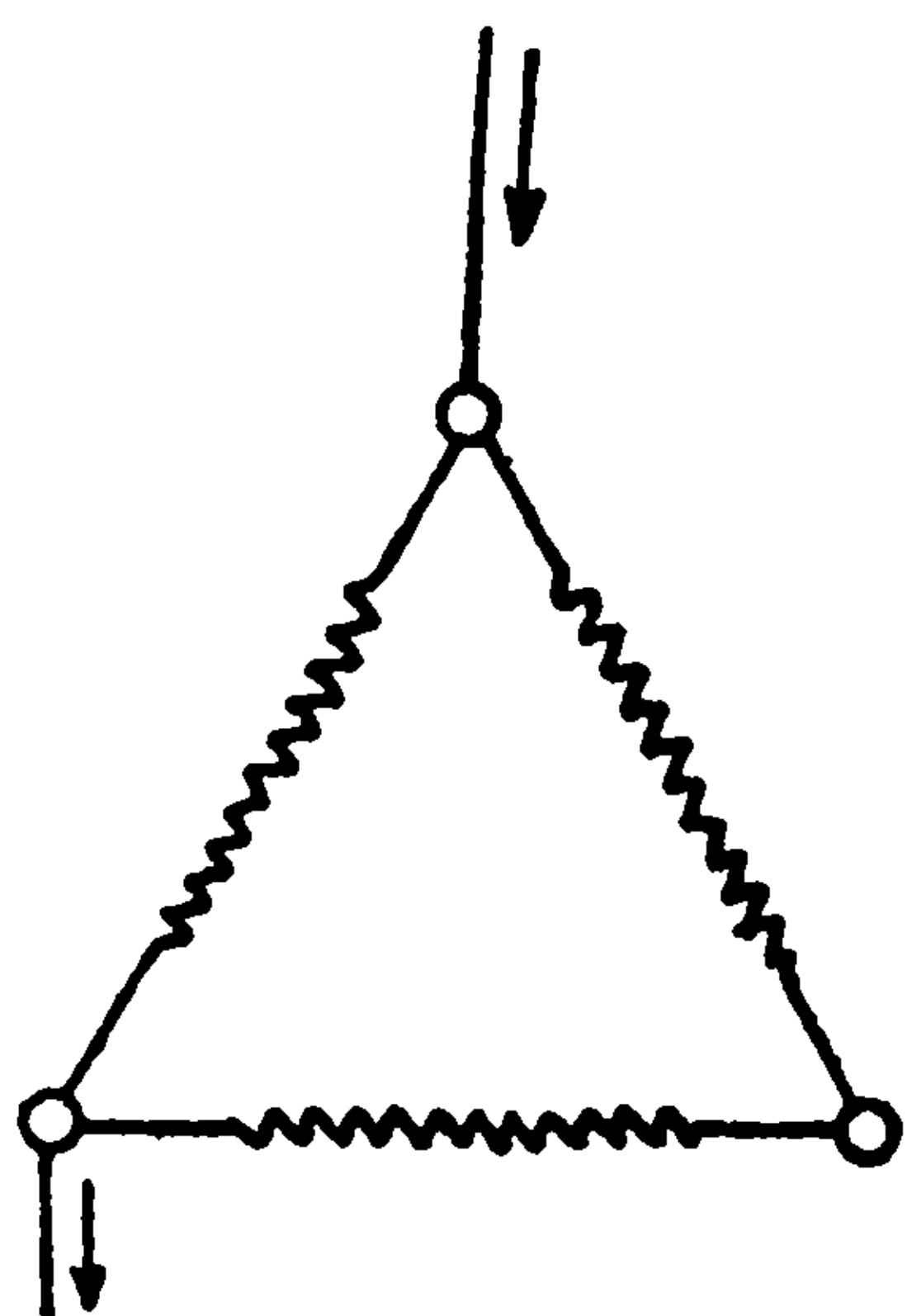
Как и в главе III первой части (А) этой книги, где мы говорили об устранении неисправностей у машин постоянного тока, мы остановимся здесь только на просушке машин и на устранении искрения.

1. Просушка альтернаторов.

(В случае неисправностей 2а, 5а, 7с).

Естественная сушка альтернаторов нагретым воздухом производится так же, как это описано в п. 2 главы III (стр. 63),

применительно к машинам постоянного тока.



Что же касается сушки альтернаторов электрическим током, то статорную обмотку, если она соединена звездой, разделяют в центре звезды (в нулевой точке) на три фазные обмотки и пропускают по ним поочередно постоянный ток сильно пониженного напряжения. Если же статорная обмотка соединена треугольником, то можно не разъединять ее фаз и сушить их все одновременно постоянным током сильно пониженного напряжения, пропуская его через всю обмотку так, как это показано на рис. 29. Так

Рис. 29. Просушка током трёхфазной обмотки, соединенной треугольником.

как, однако, при этой схеме ток в одной из фаз вдвое сильнее, чем в двух других, то для равномерной сушки всех фазных обмоток нужно от времени до времени менять зажимы, через которые пропускается ток.

Разумеется, соединенную звездой обмотку можно для сушки пересоединить на треугольник, чтобы воспользоваться

только-что указанным способом пропускания тока. Он ведь скорее приводит к цели, чем пропускание тока через каждую обмотку порознь.

Альтернаторы можно также сушить посредством короткого замыкания статорной обмотки. Как известно, ток возбуждения в магнитных катушках и скорость вращения полюсного колеса должны быть не велики для того, чтобы в короткозамкнутой статорной обмотке возник по индукции ток „нормальной“ силы (то-есть той же силы, которою обладает в статорной обмотке ток при полной нагрузке машины). Рекомендуется замкнуть накоротко статорную обмотку через амперметры, как на рис 28. Если обмотка соединена треугольником, то можно ее для этого пересоединить на звезду. Тогда показания амперметров позволяют следить за силою тока короткого замыкания, с тем, чтобы регулировать ее посредством регулирования тока возбуждения. Если магнитные катушки тоже отсырели, то надо пропускать по ним ток сильно пониженного напряжения. И если он при этом не сможет в последовательно соединенных магнитных катушках достигнуть той силы, при которой в статорной обмотке достигает надлежащей силы ток короткого замыкания, то можно переключить катушки с последовательного на параллельное соединение.

2. Искрение щеток.

Контактные кольца незадолго до пуска машины в ход нужно тщательно вытереть чистою полотняною тряпкой и покрыть очень тонким слоем вазелина, чтобы щетки скользили по ним с незначительным трением.

Контактные кольца требуют значительно меньшего ухода, чем коллектор; все же надо следить за тем, чтобы и они изнашивались равномерно, не теряя своей цилиндричности. Их следует почаще протирать чистыми, смоченными бензи-

ном, тряпками и от времени до времени смазывать очень тонким слоем вазелина. Поверхность их всегда должна оставаться гладкой и металлически чистой. Если она стала шероховатой, ее следует отполировать стеклянной (не наждачной) бумагой, для чего бумагу опять-таки кладут на деревянный шаблон, имеющий кривизну контактного кольца. Если же контактное кольцо по вине плохого ухода перестало быть цилиндричным, то его нужно отшлифовать наждачным кругом или обточить так же, как коллектор (см. стр. 62 п. 1), а после обточки снова отполировать стеклянной бумагой и затем всю машину очистить от металлической пыли.

Угольные щетки пришлифовываются к контактными кольцам так же, как к коллектору. Относительно ухода за ними см. стр. 58.

В. ИНДУКЦИОННЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

(Трехфазные и однофазные.)

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

ОПИСАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

1. Трехфазный электродвигатель развивает недостаточную мощность.

Индукционный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором ¹ является в смысле конструкции самую простую из электрических машин.

Статор у него таков же, как у альтернаторов, и, значит, подвержен только тем трем неисправностям, о которых мы говорили на стр. 70, т. е. неправильному соединению катушек, короткому замыканию в статорной обмотке или разрыву в одной из фаз.

Ротор в простейшем случае имеет вид „белчьего колеса“ — цилиндрического каркаса из медных стержней, вложенных в пазы железного барабана и соединенных с обеих его сторон медными же кольцами. Такое колесо может разве что

¹ Ротором или якорем называется вращающаяся часть индукционного двигателя. Индукционный двигатель называется также асинхронным.

Распаяться или сгореть от чрезмерного тока, частичным же и мелким повреждениям оно совсем не подвержено.

Маленькие двигатели этого типа пускаются в ход простым замыканием рубильника, включающего статорную обмотку на сеть. Остановка их производится простым размыканием этого рубильника.

Таким образом, здесь нет частей, подверженных износу, кроме подшипников. (Правда, если подшипниковые вкладыши сработались, то может статься, что ротор начнет задевать при своем вращении статор, потому что между железное пространство между ними очень невелико.) Болезням здесь почти негде угнездиться, их источники сведены к самому незначительному числу.

Но, к сожалению, пусковой ток у такого двигателя очень силен — в 5 — 7 раз сильнее тока полной нагрузки. При сколько-нибудь значительной мощности двигателя этот пусковой ток не только становится опасным для обмоток, но и вызывает недопустимые толчки тока в питающей электродвигатель сети. Его приходится ослаблять особыми приспособлениями, и эти приспособления являются источниками новых неисправностей.

Из многих приспособлений, придуманных для этой цели, мы в дальнейшем будем иметь в виду и теперь же напомним читателю только два, наиболее распространенные: 1) переключение статорной обмотки, на время пуска в ход, с треугольника на звезду и 2) увеличение роторного сопротивления на время пуска в ход посредством присоединения к роторной обмотке пускового реостата, то-есть добавочных сопротивлений.

Первый из этих способов не усложняет конструкции. Ротор остается короткозамкнутым и может иметь форму беличьего колеса. „Переключатель со звезды на треугольник“ присоединен к статорной обмотке так, как это схематически представлено на рис. 30. При пуске в ход переключатель

находится в нижнем положении. Тогда три фазные обмотки I, II, III образуют звезду (с центром в переключателе) и между каждыми двумя проводами сети включены две фазные обмотки. К каждой из них тогда приложено напряжение, которое в 1,73 раза меньше напряжения сети.

Если бы этот переключатель уже при пуске в ход находился в верхнем положении, то фазные обмотки были бы соединены треугольником и каждая из них находилась бы под полным напряжением сети.

Способ этот, следовательно, приводит к тому, что при пуске в ход ослаблены в 1,73 раза ток в статорной обмотке, вращающееся поле, создаваемое этим током, электродвижущая сила, порождаемая вращающимся полем в роторе, ток, который эта электродвижущая сила создает в короткозамкнутом роторе, и собственное поле ротора, создаваемое роторным током.

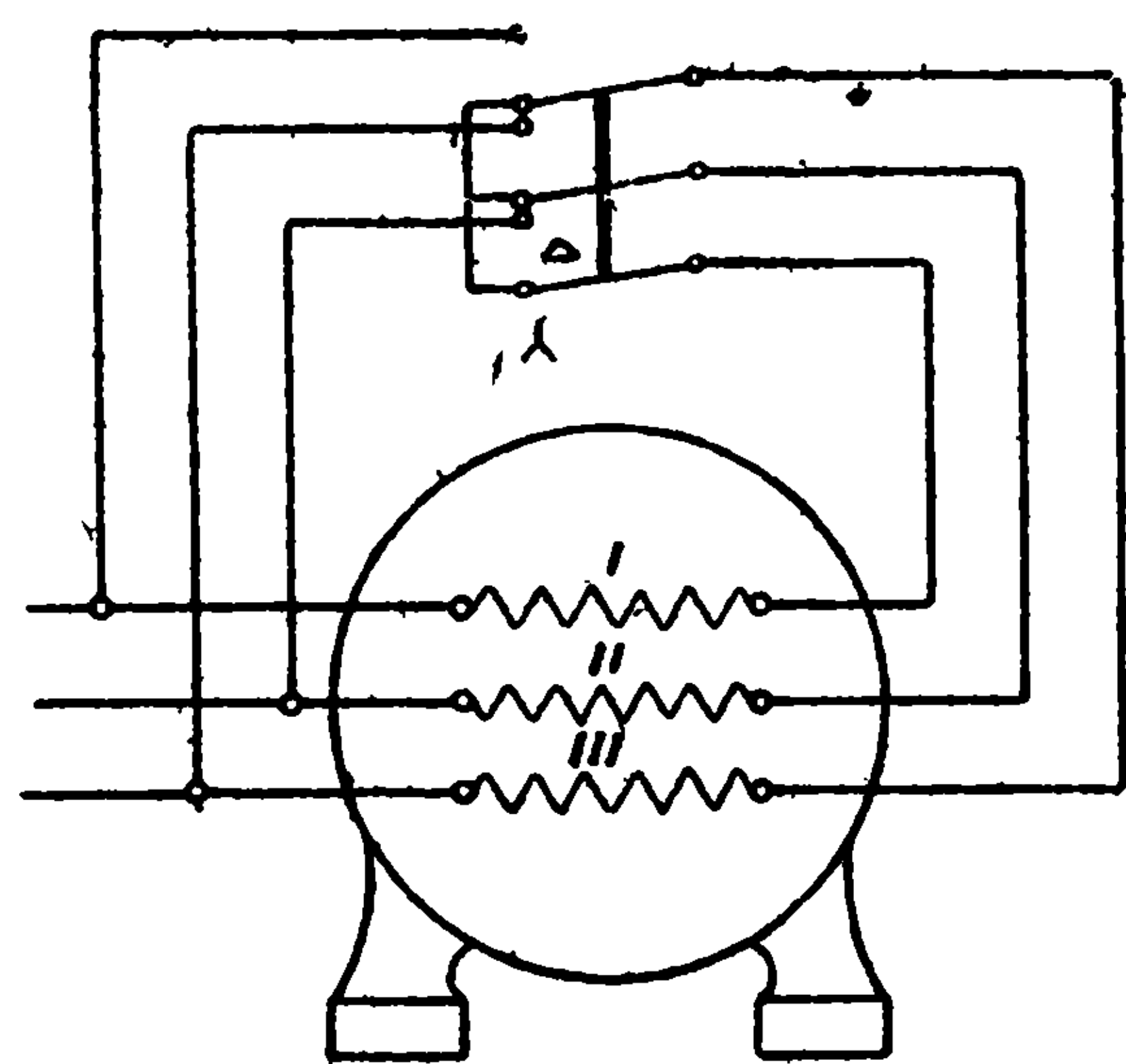


Рис. 30. Переключатель со звезды на треугольник.

После пуска в ход и по мере ускорения хода вращающееся поле все реже рассекает проводники ротора, и поэтому ослабевают в роторе электродвижущая сила, ток и поле; это последнее все меньше подавляет собою вращающееся поле, которое поэтому может создавать в статорной обмотке все большую противоэлектродвижущую силу; сила эта все больше уравновешивает собою приложенное к статору напряжение, так что и в статорной обмотке ослабевает ток. Тогда можно переключить обмотку со звезды на треугольник, чтобы снова усилить вращающееся поле в статоре и ток в роторе и тем самым повысить вращающее усилие двигателя, которое главным образом зависит от этих двух величин. Способ этот применим только в том случае, если для переключения доступны все шесть концов статорной обмотки, то-есть оба

конца каждой фазной обмотки. Так это обычно и делается, с тою целью, чтобы один и тот же двигатель можно было приключать к сетям с двумя различными напряжениями, из которых одно в 1,73 раза выше другого, например, построить двигатель для 120/210 вольт (или для 220/380 вольт). Для присоединения к сети с меньшим из этих двух напряжений, фазные обмотки статора соединяют треугольником, для присоединения к сети с большим напряжением — звездю.

Но уже сама по себе эта столь удобная возможность переключений есть в то же время возможность ошибок и не-

исправностей. Если бы, например, двигатель, построенный для 120/210 вольт, по ошибке оказался под напряжением 210 вольт в соединении треугольником или под напряжением 120 вольт в соединении звездю, то в первом случае он был бы током перегружен и его обмотки скоро бы сгорели, а во втором он был бы током недогружен и развивал бы

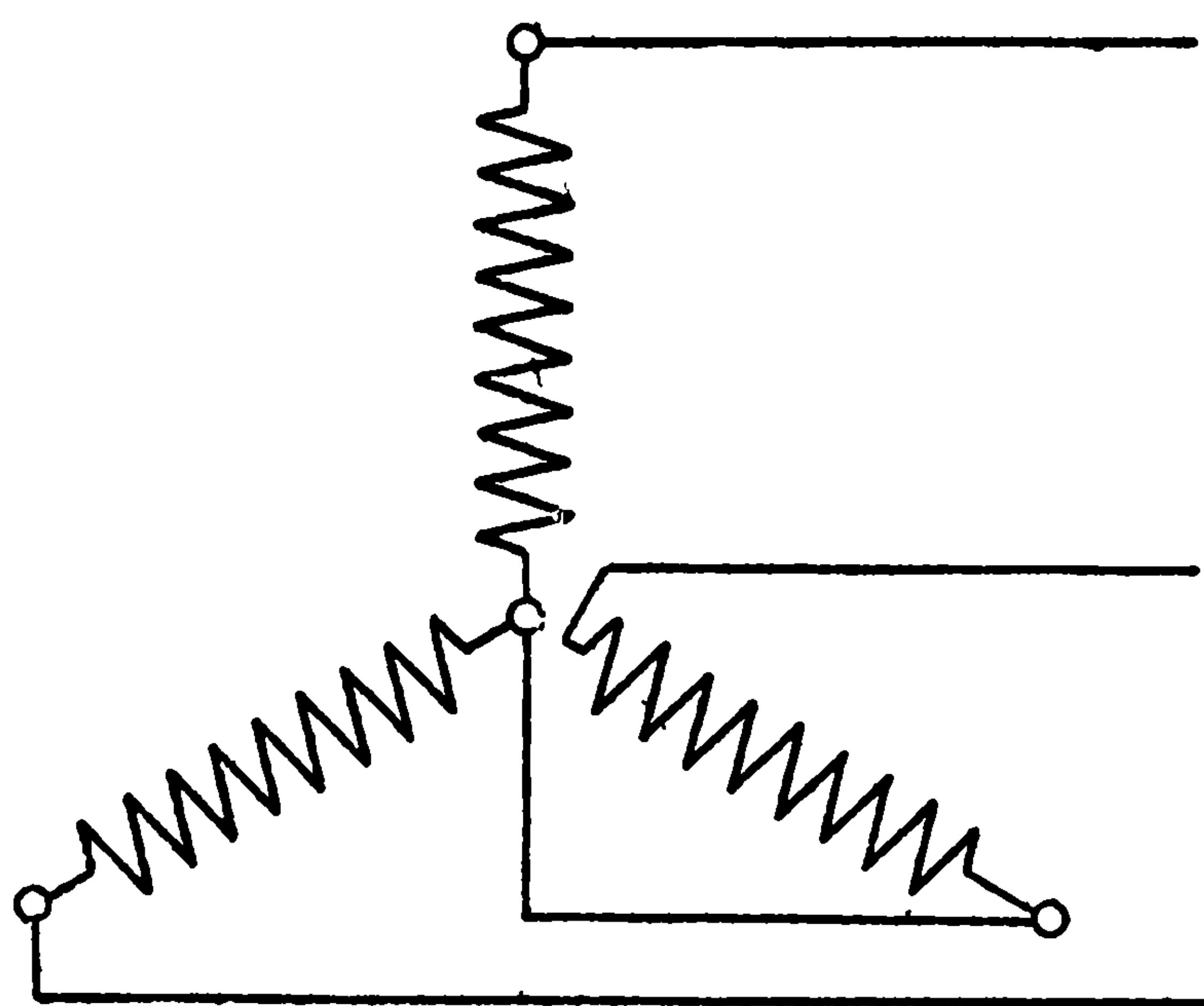


Рис 31 Начало и конец одной фазы в трехфазной обмотке перепутаны.

только незначительное вращающее усилие. Если бы, далее, желая соединить обмотки звездю, мы по ошибке перепутали начало и конец одной из фаз, то-есть создали бы не схему рис. 27, а схему рис. 31, то произошла бы неисправность, сходная с неправильным включением магнитных катушек у машины постоянного тока: получилось бы слабое и искаженное вращающееся поле, недостаточное для пуска двигателя в ход.

Пересоединение „переключателя со звезды на треугольник“ является источником тех же ошибок. Оно, например, недопустимо в том случае когда сеть дает 210 вольт, а электро-

двигатель построен для 120/210 вольт. Если это переключение тем не менее будет по ошибке допущено, то после пуска в ход и переключения фазные обмотки окажутся в соединении треугольником, причем каждая из них подвержена будет действию 210 вольт, тогда как рассчитана только на 120 вольт, и снова обмотке грозит разрушение.

Неправильное присоединение этого переключателя к выведенным из статора проводам тоже может создать неправильную схему рис. 31 и воспрепятствовать пуску двигателя в ход.

Второй способ требует усложненной конструкции ротора. Он снабжается многофазной обмоткой, обычно — трехфазной, в соединении звездой, и три ее свободных конца подведены к трем сидящим на валу контактными кольцам. К этим-то кольцам перед пуском в ход присоединяются через щетки добавочные сопротивления пускового реостата, которые тоже соединены звездой. Тогда начальный пусковой ток ослаблен в роторе, а значит, как мы только-что объяснили, и в статоре. По мере того, как двигатель ускоряет ход, пусковой ток сам собою ослабевает, и тогда надо постепенно выводить добавочные сопротивления из цепи ротора, чтобы поддерживать силу этого тока, а вместе с ним и вращающее усилие двигателя, пока, наконец, ротор не замкнется накоротко через центр звезды в реостате. Обычно двигатель имеет еще особое приспособление, позволяющее затем одним движением рычага замкнуть ротор накоротко через кольца и приподнять с колец щетки, чтобы кольца и щетки бесполезно не изнашивались.

Но и эти все приспособления, при всех своих удобствах, имеют тот недостаток, что могут действовать неисправно. Они тоже увеличивают собою число неисправностей, грозящих асинхронному электродвигателю.

Прежде всего с роторной обмоткой, если она трехфазная, могут случаться такие же неисправности, что и со статор-

ной — неправильные соединения катушек, короткие замыкания или разрывы. Значит, число возможных неисправностей уже удваивается.

Далее, чуть только мы обращаемся к помощи колец и щеток для присоединения к ротору пускового реостата, нам уже приходится опасаться неисправностей в короткозамыкающем приспособлении, кольцах, щетках, реостате и соединительных проводах между щетками и реостатом.

В острой форме эти неисправности тоже вызывают разрывы в роторной цепи; в более слабой форме они ненужным образом усиливают сопротивление ротора, то есть ослабляют роторный ток и вместе с ним вращающее усилие.

Этим перечень неисправностей, грозящих асинхронному двигателю, исчерпывается.

Когда мы описывали неисправности альтернатора, то главным признаком его расстройства служило для нас недостаточное напряжение. Это естественно: ведь задача альтернатора в том, чтобы давать достаточное напряжение. Если он с нею не справляется, значит, он неисправен.

Рассуждая подобным же образом, мы должны признать главным признаком расстройства у электродвигателя неспособность справиться с тою механической работою, на которую он рассчитан.

И точно, каждая из возможных неисправностей, которые мы перечислили выше, отражается вредно на вращающем усилии электродвигателя, как мы это увидим при более подробном их рассмотрении, а вращающему усилию пропорциональна мощность, развиваемая двигателем на его валу, то есть механическая работа, ежесекундно им совершаемая.

Эта мощность зависит еще, правда, от скорости двигателя, но у асинхронного двигателя скорость почти не изменяется. Он, как известно, стремится делать столько же оборотов в минуту, сколько их делает вращающееся поле, и, работая в холостую, почти осуществляет это свое стремление. Он

осуществил бы его вполне, если бы не должен был даже при холостом ходе развивать некоторое вращающее усилие, чтобы преодолевать трение в подшипниках и о воздух. Чем больше он нагружен, тем больше „скользит“, то есть отстает в своей скорости от синхронного числа оборотов, — именно потому отстает, что должен развивать повышенное вращающее усилие. Но и при полной нагрузке скорость исправного двигателя ниже синхронной только на несколько процентов. И если при той же нагрузке вращающее усилие двигателя требует большего „скольжения“, чем обычно, если число его оборотов значительно падает, тем самым уменьшая его полезную мощность, то это значит, что двигатель пришел в неисправность.

В самом деле, вращающее усилие асинхронного двигателя пропорционально трем величинам: 1) числу рассекаемых ротором силовых линий вращающегося поля, 2) числу рассекающих это поле и токонесущих проводников ротора и 3) силе роторного тока. Так как ротор и вращающееся поле движутся в одну и ту же сторону, то ротор рассекает тем больше силовых линий вращающегося поля, чем больше от него отстает, и по этой-то причине, как мы видели выше, повышенное вращающее усилие требует усиленного скольжения ротора. С другой стороны, при одном и том же вращающем усилии ротор, очевидно, должен тем больше скользить (тем чаще рассекать вращающееся поле) 1) чем меньше вообще у этого поля силовых линий (чем оно слабее), 2) чем меньше у ротора рассекающих поле и токонесущих проводников и 3) чем сильнее сопротивление ротора, потому что тем меньше роторный ток. И все перечисленные нами выше неисправности именно потому влекут за собою усиленное скольжение, то есть значительное падение числа оборотов, что: 1) одни из них ослабляют вращающееся поле, 2) другие уменьшают число взаимодействующих с этим полем проводников ротора, 3) третьи ослабляют

ток в роторе. В таком порядке мы и рассмотрим их подробнее.

При чрезмерном уменьшении одной из этих трех величин—вращающегося поля, числа роторных проводников или роторного тока—вращающее усилие становится ниже того, какое требуется двигателю, чтобы одолеть данную нагрузку, и тогда двигатель не приходит во вращение вовсе или, если это случилось после пуска в ход,—останавливается. О таком бессилии двигателя мы будем говорить в следующей главе.

Неисправности, ослабляющие вращающееся поле.

1. Подведенное к статорной обмотке напряжение понижено. Мы не говорим здесь о том случае, когда к статорной обмотке умышленно подводится пониженное напряжение для ослабления пускового тока, например, посредством ее переключения с треугольника на звезду или посредством особого трансформатора. Мы говорим о неумышленном понижении этого напряжения, могущем произойти от следующих причин: а) усилилось переходное сопротивление где-нибудь в зажимах предохранителей, главного выключателя, переключателя со звезды на треугольник, самого статора или в исполненных пайкою соединениях между фазными обмотками, б) статорная обмотка по ошибке соединена звездю, тогда как должна быть соединена треугольником, в) понижилось напряжение самой сети.

В случае 1а амперметр, вводимый в три питающих двигатель провода, показывает различные силы тока, в случаях 1б и 1в ток одинаковой, но пониженной силы.

На пусковом вращающем усилии такое падение напряжения отражается весьма значительно. Это усилие понижается, например, на 20% при падении напряжения на 10%, на 44% при 20% падения, на 69% при 30% падения. Поэтому

затрудненный пуск в ход да и уменьшение скорости уже пущенного двигателя служат основанием заподозрить эту неисправность, особенно при отсутствии других признаков, о которых речь дальше.

2. В одной из фазных обмоток статора или между ними произошло короткое замыкание, а) вследствие влажности изоляции или б) вследствие повреждения изоляции в двух местах, создающих между ними соединение непосредственное или через корпус машины. Амперметр в питающих двигатель проводах показывает ток различной, но повышенной силы, пострадавшие катушки усиленно греются, но вращающееся поле создается неравномерное и слабое, если только вообще создается, и вращающее усилие поэтому незначительно, несмотря на сильное скольжение. Для этой неисправности, как и для всех тех неисправностей, которые вызывают неравномерность вращающегося поля, показателен важный добавочный признак — особое гудение в машине.¹

3. В одной из фазных обмоток статора или в проводе, ее питающем, произошел разрыв после пуска двигателя в ход. Тогда двигатель становится однофазным. Если статорная обмотка его соединена звездой, то разрыв одной фазы оставляет под напряжением две трети обмотки, и если нагрузка двигателя невелика, то, и став однофазным, он может с нею справляться, то-есть продолжать свое вращение. Отсутствие тока в одном из проводов,

¹ Такая же картина „болезни“, но только без усиленного нагревания отдельных катушек наблюдается у асинхронного двигателя в случае неправильного соединения катушек в одной из статорных обмоток (когда, например, конец одной из них соединен не с началом, а с концом соседней катушки — см. стр. 71 и 78). Но эта неисправность относится к числу конструктивных, на заводе возникших болезнью, о которых мы в этой книге вообще не говорим, ибо неизменно предполагаем, что машина заболела на месте установки.

усиленный и одинаковый ток в обоих остальных и сильное гудение машины—таковы признаки этой неисправности. Подробнее об однофазном двигателе мы будем говорить в п. 4 (стр. 98).

4. Междужелезное пространство между статором и ротором неравномерно. Это происходит, обычно, вследствие износа подшипниковых вкладышей. Подчас ротор даже начинает задевать при вращении статор. Вращающееся поле ослабевает в тех местах, где воздушный зазор больше, и усиливается там, где он меньше. Неравномерность поля дает о себе знать гудением и толчкообразною работою двигателя. Он приходит во вращение только в определенных положениях и потребляет усиленный и колеблющийся ток.

Неисправности, уменьшающие число действующих роторных проводников.

5. Короткое замыкание в одной из фазных обмоток ротора или между ними: а) вследствие влажности изоляции или б) вследствие повреждения изоляции в двух местах, соприкасающихся непосредственно или 'сообщающихся через корпус машины или через землю. Сюда относится, в числе других возможных случаев, и короткое замыкание между контактными кольцами или между проводами, соединяющими щетки с реостатом. Сопротивление уцелевших частей обмотки тогда уменьшено, ток в них усилен, сообразно с чем усилен и в статоре ток, и ненагруженный ротор легче приходит во вращение, чем обычно, часто даже при включенном реостате, именно потому, что он замкнулся накоротко и, значит, от реостата не зависит. Но он усиленно греется, развивает незначительное вращающее усилие и не достигает сколько-нибудь значительной скорости. Дополнительным признаком этой неисправности служит особого рода жужжание.

6. Разрыв одной из фаз роторной обмотки. Этот разрыв может произойти как: а) в самой обмотке, так и б) на пути к пусковому реостату, например, в короткозамыкающем приспособлении, или у контактного кольца, или между кольцом и щеткой, или в проводе, соединяющем щетку с зажимом реостата, а также в) в самом пусковом реостате. В этом случае двигатель достигает только около половины нормального числа оборотов, а поэтому, опять-таки, ток в роторе силен и сильно его нагревает, несмотря на незначительное вращающее усилие.

Неисправности, ослабляющие ток в роторе.

7. Мы и здесь не говорим об умышленном ослаблении тока в роторе на время пуска в ход посредством присоединения к роторной обмотке пускового реостата. Но может случиться и неумышленное увеличение сопротивления в роторной цепи: а) вследствие ослабления контакта в каких-нибудь зажимах или между щетками и контактными кольцами (относительно контактных колец и щеток см. стр. 76 в конце) или б) вследствие слишком малого сечения проводов, соединяющих ротор с пусковым реостатом. Если реостат служит только для пуска в ход, то эта неисправность отражается только на пусковом вращающем усилии, которое может оказаться чрезмерно низким. Но иногда реостат остается присоединенным к ротору и служит во время работы двигателя для регулирования его числа оборотов. Тогда излишне сильное сопротивление в цепи ротора все время уменьшает мощность двигателя, увеличивает скольжение и усиливает, поэтому, ток в роторе, а значит, и в статоре, нагревая тот и другой. За всеми зажимами, щетками и контактными кольцами необходим поэтому внимательный уход, а проводам, соединяющим ротор с реостатом, надо придавать большое сечение. Оно определяется

обычно кабельными наконечниками у двигателя, а у небольших двигателей — сечением выведенных из ротора соединительных проводов. Но и кабельные наконечники и эти провода рассчитаны на то, что реостат будет установлен подле самого двигателя. Если же реостат и двигатель не стоят бок о бок, то это сечение нужно выбрать с изрядным запасом, тем большим, чем больше между ними расстояние.

2. Трехфазный электродвигатель отказывается работать.

Все неисправности 1—7, до сих пор рассмотренные нами, уменьшают, как мы видели, вращающее усилие, какое способен развивать двигатель, и может оказаться, что это уменьшенное вращающее усилие слишком мало для преодоления нагрузки. Тогда двигатель вращаться не может. И уже подавно не может он вращаться тогда, когда уничтожается одна из величин, создающих вращающее усилие, когда нет и не может быть правильного вращающегося поля, или замкнутой роторной цепи, или тока в роторе.

Таким образом, к уже названным 7 неисправностям, могущим обессилить асинхронный двигатель, мы должны прибавить следующие, которые обессиливают его неизбежно:

8. Разрыв в двух фазах статорной обмотки (или в двух питающих ее проводах).

9. Полное короткое замыкание между двумя фазами статорной обмотки (между тремя и подавно) а) вследствие влажности изоляции или б) ее повреждения.

10. Разрыв в двух фазах роторной обмотки: а) в них самих, или б) в их соединениях с пусковым реостатом, или в) в двух ветвях реостата.

11. Неправильное присоединение одной из фаз статорной обмотки к двум остальным (ее начало и конец перепутаны).

3. Чрезмерное нагревание трехфазного двигателя.

Описывая неисправности 1—7, мы уже имели возможность убедиться, что каждой из них сопутствует чрезмерное нагревание статора или ротора или всего двигателя. Таким образом, чрезмерное нагревание асинхронного двигателя, это — такой же убедительный признак его неисправного состояния, как его недостаточная мощность (малая скорость или малое вращающее усилие). Пользуясь обоими этими признаками (относительно измерения температуры см. стр. 75 п. 3) и точнее определяя место нагревания машины, легче выяснить род и место неисправности, чем на основании только одного из них. Кроме того, есть еще две неисправности, которые влекут за собою чрезмерное нагревание двигателя:

12. Статорная обмотка по ошибке соединена треугольником, а должна быть соединена звездой (см. стр. 88). Статор тогда нагревается сильно уже при холостом ходе, а при нагрузке повышение температуры так велико, что обмотка начинает обычно тлеть (запах гари), и двигатель приходится немедленно остановить.

13. Электродвигатель, будучи исправен, перегружен, то-есть на него возложена чрезмерная механическая работа. Он справляется с нею, но чрезмерное вращающее усилие требует чрезмерного тока в роторе, а значит, и в статоре, и весь двигатель, поэтому, чрезмерно нагревается.

4. Однофазный электродвигатель отказывается работать.

С однофазным электродвигателем мы уже столкнулись, говоря о неисправности 3 (см. стр. 93) — о том случае, когда разрыв одной фазы в статоре трехфазного двигателя превращает его в двигатель однофазный.

Вращающееся поле у такого двигателя образуется только тогда, когда он уже вращается, так что пускать его в ход приходится или вручную или посредством особых приспособлений, и при том в ненагруженном виде. Даже в совершенно исправном состоянии он развивает вращающее усилие значительно меньшее, чем двигатель трехфазный, потому что у него значительно слабее вращающееся поле. Поэтому те неисправности, которые у трехфазного двигателя только замедляют ход, для двигателя однофазного обычно означают остановку.

С этой оговоркою мы можем отнести к однофазному двигателю все то, что сказали о неисправностях 1а, 2, 4, 5, 6, 7 и 11 у трехфазного двигателя.

На время пуска в ход однофазный двигатель обычно делают двухфазным. Для этого он снабжен вспомогательной обмоткою, и между токами в главной и вспомогательной обмотках вызывается искусственный сдвиг фаз при помощи дроссельной катушки, введенной в цепь вспомогательной обмотки. Эти приспособления опять-таки могут быть источниками неисправностей, препятствующих пуску двигателя в ход. Таковы:

14. Разрыв в цепи вспомогательной фазы (в самой вспомогательной обмотке, в дроссельной катушке или в проводах между ними) и

15. Короткое замыкание во вспомогательной обмотке или между нею и главной обмоткою а) вследствие влажности изоляции или б) повреждения изоляции.

Останавливаться на этом подробно значило бы повторяться.

РАСПОЗНАВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

Ниже указаны способы распознавания неисправностей у асинхронного двигателя в том же порядке, в каком мы их описали.

1. Трехфазный двигатель развивает недостаточную мощность.

1. Чтобы узнать, не понижено ли напряжение, подведенное к фазным обмоткам статора, присоединяют вольтметр к зажимам каждой обмотки на зажимной доске и сравнивают его показания с показаниями вольтметра в сети. Если между этими показаниями наблюдается сколько-нибудь значительное расхождение, то проверяют путем осмотра, не произошла ли неисправность 1а или 1б. Что касается неисправности 1в, — понижения напряжения в сети, — то ее прямо указывает вольтметр в сети.

2 и 3. Короткие замыкания и разрывы в статорной обмотке распознаются так же, как у альтернатора (см. неисправности 2 и 3 на стр. 77 и 78).

4. Междужелезное пространство проверяется „бейками“ (см. стр. 39 неисправность 7а).

5. Короткое замыкание в роторной обмотке ищут путем проверки изоляции ее фаз друг от друга и от корпуса, при чем удобно заодно проверить в том же отношении изоляцию контактных колец, да и статорной обмотки (неисправность 2), если ее шесть концов выведены к зажимной доске.

Для этого исследования поднимают щетки с колец (рис. 32), а на зажимной доске снимают все мосты¹ и заземляют ее (рис. 33).

U и $V—U$ и $W—V$ и W : этим проверяется изоляция между вазами статора

1 и 2 — 1 и 3 — 2 и 3: этим проверяется изоляция между фазами ротора

U и 1 — V и 2 — W и 3: этим проверяется изоляция между фазами статора и ротора.

U и Зем — V и Зем — W и Зем: этим проверяется изоляция между фазами статора и землей.

1 и $E—2$ и $E—3$ и E : этим проверяется изоляция между кольцами, а также между фазами. Затем при-

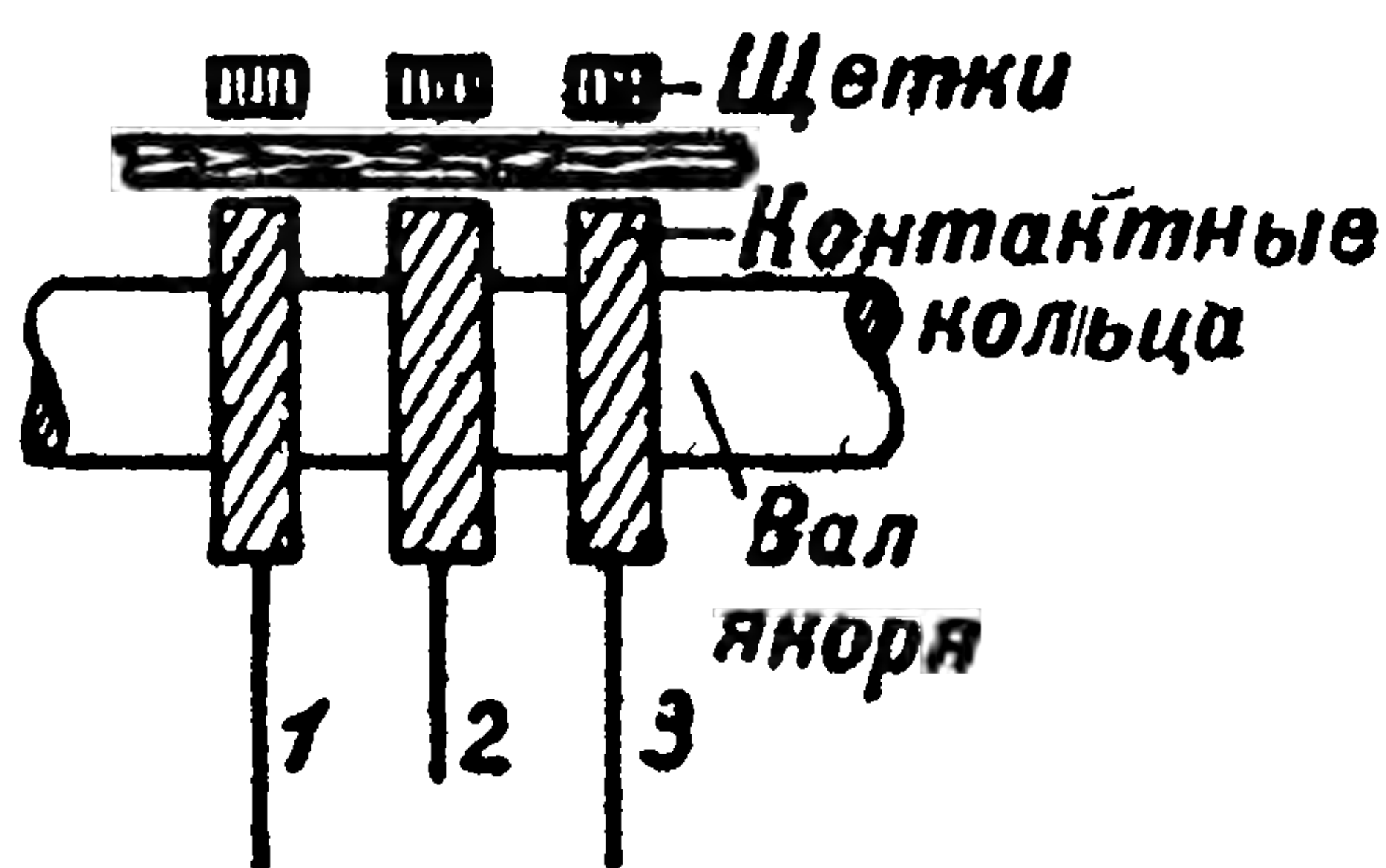


Рис. 32. Контактные кольца с приподнятыми щетками.

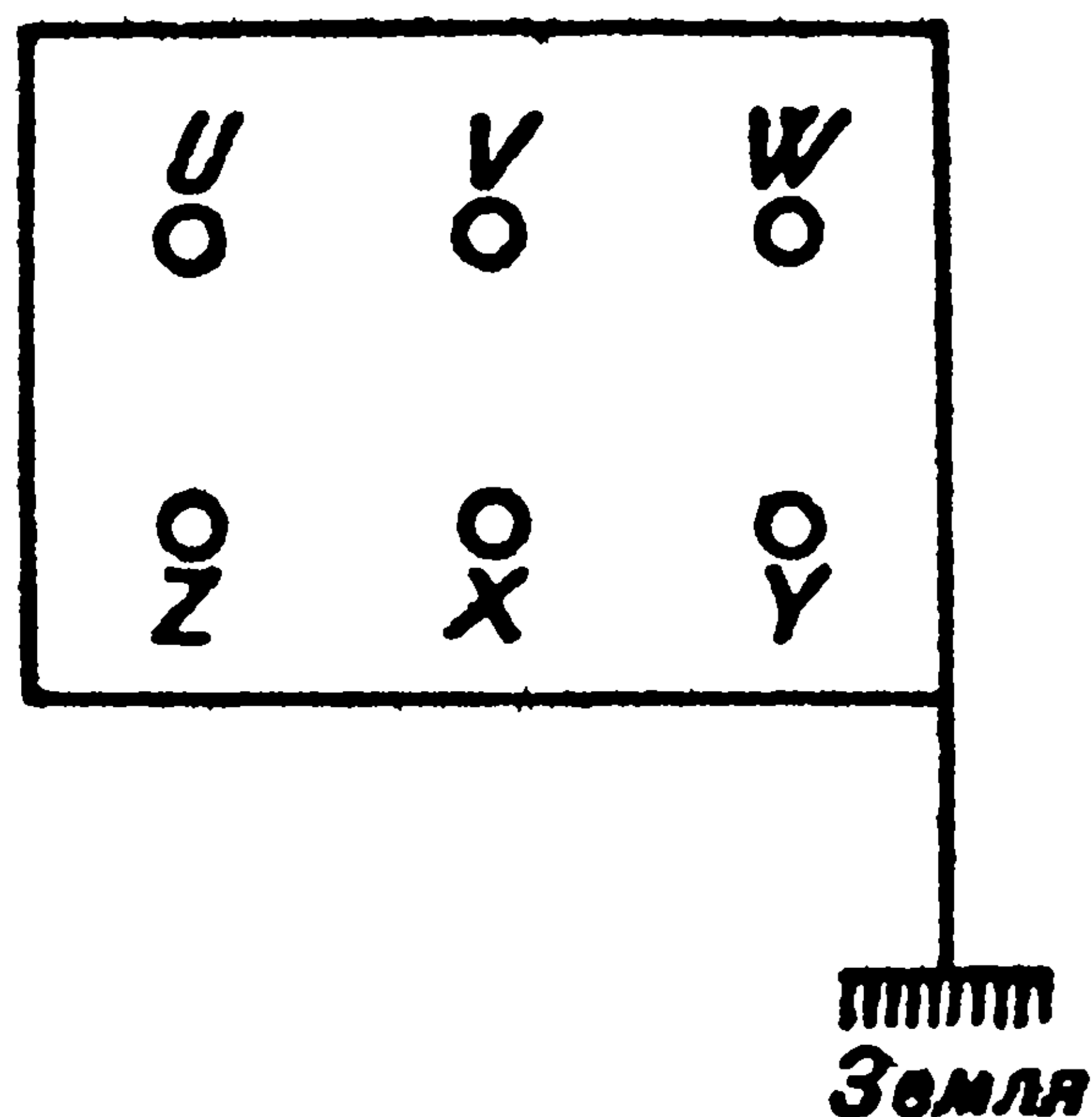


Рис. 33. Зажимная доска статора со снятыми мостами.

соединяют зажимы индуктора с ротором и землей, если эти фазы можно отделить друг от друга. ¹

Подобным же образом можно найти короткое замыкание, непосредственное или через землю, на пути от щеток к реостату. Для этого зажимы индуктора присоединяют сначала к каждому двум приподнятым щеткам, затем к каждой из щеток и земле и т. д.

6. Разрыв в одной из фаз ротора распознают, как и всякий разрыв обмотки, посредством индуктора (или галь-

¹ Мосты между U и Y , V и Z , W и X дают соединение статорных обмоток треугольником, мост между Y , Z и X — соединение звездой. Без мостов все фазные обмотки статора отделены друг от друга.

ваноскопа). Его зажимы присоединяют поочередно при поднятых щетках сначала к каждому двум контактными кольцам, потом к каждому двум щеткам. Если разрыв обнаружится на пути между щетками и центром звезды в реостате, то надо отделить реостат от проводов и отдельно проверить, не произошел ли разрыв в самом реостате, в одной из его спиралей.

Это наиболее частая причина разрыва в роторной цепи.

7. Точный и верный способ обнаружить, нет ли излишних сопротивлений в одной из роторных цепей, заключается в измерении сопротивления обмотки ротора самой по себе и сопротивления всей той линии, которую она образует вместе с зажимами, кольцом, щеткою и соединительным проводом до первого контакта пускового реостата. Лучше всего воспользоваться для этих измерений мостиком Уитстона. Оба измеренных сопротивления должны разниться между собою на незначительную величину. Если же такие измерения представляются слишком сложными, то можно удовольствоваться осмотром мест, внушающих подозрение в смысле плотности контакта. Сопротивление же соединительного провода r легко вычислить, зная его длину l и сечение q по формуле $r = \frac{1}{87} \frac{l}{q}$, где r выражено в омах, l в метрах, q — в квадратных миллиметрах).

2. Трехфазный электродвигатель отказывается работать или чрезмерно нагревается.

8 и 9. Разрыв в двух фазах статора и полное короткое замыкание между ними распознаются так же, как у альтернатора (см. стр. 71 и 72: неисправности 2 и 3).

10. Относительно разрыва в двух фазах роторной обмотки см. выше неисправность 6.

11 и 12. Неправильное включение одной из фаз статорной обмотки и включение их треугольником вместо звезды распознаются путем проверки соединений между фазами.

13. Механическая перегрузка электродвигателя указывается ваттметром. Этот прибор вводится в питающие статор провода. Он измеряет мощность, потребляемую двигателем. На щитке двигателя указана в лошадиных силах мощность, которую он развивает на валу при полной нагрузке и на которую он рассчитан. Надо знать, сколько киловатт потребляет двигатель при этой полной нагрузке, чтобы по показаниям ваттметра видеть, перегружен ли он. Эти данные (приблизительные) для двигателей от 0,5 до 100 лощ. сил указаны в приводимой ниже таблице.¹ (Для двигателей большей мощности можно задаться для приблизительного расчета подходящим коэффициентом полезного действия в пределах от 0,92 до 0,97, смотря по мощности, и определить нормальный расход в ваттах по формуле
$$\text{ватты} = \frac{\text{мощность в лощ. силах} \times 736}{\text{коэффициент пол. действия.}}$$
 (См. табл. на стр. 103.)

В этой же таблице указаны силы тока, поступающего в статорную обмотку при полной нагрузке и при различных напряжениях. Сравнивая их с показаниями амперметра, можно определять, не перегружен ли ток статор. Но о потребляемой или развиваемой двигателем мощности амперметр не позволяет судить, ибо часть амперов уходит на намагничивание машины (в виде так называемого „безваттного“, не дающего мощности тока). Чем меньше нагружен асинхронный двигатель, тем большая доля всего тока приходится на ток намагничивающий (безваттный). Это обстоятельство необходимо подчеркнуть, потому что очень часто большие

¹ Они заимствованы из преискуранта ГЭТ'а и относятся к двигателям с синхронным числом оборотов 1500 в мин. При меньшей скорости они немного больше.

показания амперметра при недогрузке двигателя ошибочно представляются несведущим людям признаком какой то неисправности. Маленький трехфазный электродвигатель, рабо-

| Мощность на валу | | Потребляемая мощность kW. | Расходуемый в статоре ток в амперах | | |
|------------------|------|---------------------------------|--|-----------|-----------|
| Лощ. сил | kW. | | 115 вольт | 215 вольт | 500 вольт |
| 0,5 | 0,37 | 0,47 | 2,85 | 1,53 | 0,66 |
| 1 | 0,74 | 0,9 | 5,3 | 2,8 | 1,25 |
| 1,5 | 1,1 | 1,38 | 8,8 | 4,7 | 2,1 |
| 2 | 1,47 | 1,84 | 11,5 | 6,16 | 2,68 |
| 3 | 2,21 | 2,69 | 15,9 | 8,55 | 3,72 |
| 5 | 3,7 | 4,33 | 25,6 | 13,7 | 6 |
| 7,5 | 5,52 | 6,4 | 37 | 20 | 9 |
| 10 | 7,4 | 8,5 | 50 | 26 | 12 |
| 15 | 11 | 12,5 | 72 | 40 | 17 |
| 20 | 14,7 | 16,5 | 92 | 48 | 21 |
| 30 | 22 | 24,5 | 139 | 75 | 32 |
| 40 | 29,4 | 32,5 | 182 | 98 | 42 |
| 50 | 36,8 | 40 | 202 | 118 | 51 |
| 60 | 44,2 | 48 | 274 | 146 | 63 |
| 75 | 55,2 | 60 | 325 | 175 | 75 |
| 100 | 73,6 | 80 | 445 | 238 | 102 |

тая вхолостую, потребляет около 60% от тока полной нагрузки и даже у очень большого двигателя ток холостого хода иногда составляет 20% от нормального. Признаком неисправного состояния это нисколько не служит.

3. Однофазный электродвигатель отказывается работать.

К распознаванию неисправностей, препятствующих работе однофазного асинхронного двигателя, относятся с должными оговорками все, что сказано в этой главе о неисправностях 1, 2, 4, 5, 6, 7 и 11.

14 и 15. Что же касается разрыва вспомогательной фазы и короткого замыкания в ней или между

нею и главной фазой, то эти неисправности можно обнаружить при помощи индуктора совершенно так же, как разрыв и короткое замыкание в фазах трехфазной статорной обмотки (см. стр. 77 и 78: неисправности 2 и 3).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

УСТРАНЕНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ.

Пересматривая неисправности, которым подвержены асинхронные двигатели, мы, опять-таки, несколько не затруднимся в большинстве случаев вопросом о том, как их устранять.

Ясно, что все повреждения обмоток (разрывы в их меди или в их изоляции) требуют заводского ремонта двигателя. Таковы случаи 2б, 3, 5б, 6, 8, 9а, 10 а, 14 и 15б.

Неисправности 1в и 13 вызываются неправильными условиями работы двигателя (пониженным напряжением в сети или механической перегрузкой). Очевидно, что в каждом отдельном случае вопрос их устранения решается различно.

В ряде неисправностей могут быть виноваты ослабленные контакты. Таковы случаи 1а, 7а, 10б. В последних двух случаях надо иметь в виду необходимость ухода за контактными кольцами и щетками (см. стр. 83).

В некоторых случаях легко заменить на месте установки поврежденные или непригодные части новыми, например, износившиеся подшипниковые вкладыши (случай 4), поврежденные соединительные провода (случай 5 и 6), а также в случае 7б — провода слишком малого сечения.

По поводу этой последней неисправности укажем формулу, по которой следует рассчитывать сечение соединительных проводов между ротором и реостатом. Для этого расчета задаются известным числом оборотов, на какое соглашаются уменьшить скорость двигателя ради удобств, представляемых

пусковым (и регулировочным!) реостатом. Назовем это число s . Если, далее, обозначить через n синхронное число оборотов, через J — силу тока в роторе при полной нагрузке и через E наибольшее напряжение на контактных кольцах (при неподвижном роторе), то искомое сечение (если двигатель — трехфазный) равно

$$q = \frac{1.73. l J n}{57. s. E}.$$

Напряжение E обычно указывается на щитке двигателя. Из него можно вычислить силу тока в роторе J , если она неизвестна, по следующей приближенной формуле:

$$J = \frac{\text{Мощность двигателя в лощ. силах} \times 736}{E \times 1.73 \times 0.85}.$$

Пример: На щитке указано: 12 лощ. сил при 1430 об. в мин., наибольшее напряжение на кольцах 77 вольт. Значит,

$$J = \frac{12.736}{77 \cdot 1.73 \cdot 0.85} = 78 \text{ амп.}$$

Пусть длина соединительного провода между контактным кольцом и реостатом — 25 метров. И пусть можно пожертвовать 30 оборотами, так чтобы двигатель делал ровно 1400 оборотов в минуту. Синхронное число оборотов — 1500. Поэтому сечение провода q должно равняться

$$q = \frac{1.73 \cdot 25 \cdot 78 \cdot 1500}{30 \cdot 57 \cdot 77} = \text{около } 37 \text{ кв. мм.}$$

(Лучше взять 50 кв. мм, чем 35 кв. мм.)

В неисправностях 16, 11 и 12 виноваты неправильные соединения фазных обмоток в статоре.

По этому поводу нелишне указать, какие правила нужно, во избежание ошибок, соблюдать при пересоединении этих фазных обмоток, когда статор имеет только три зажима.

Для пересоединения статора с треугольника на звезду (рис. 34) нужно распаять концы обмоток в местах их соединения, определить при помощи гальваноскопа оба конца каждой фазы (фиг. II) и обозначить концы по порядку буквами $a_1, e_1, a_2, e_2, a_3, e_3$, как на фиг. II; затем спаять

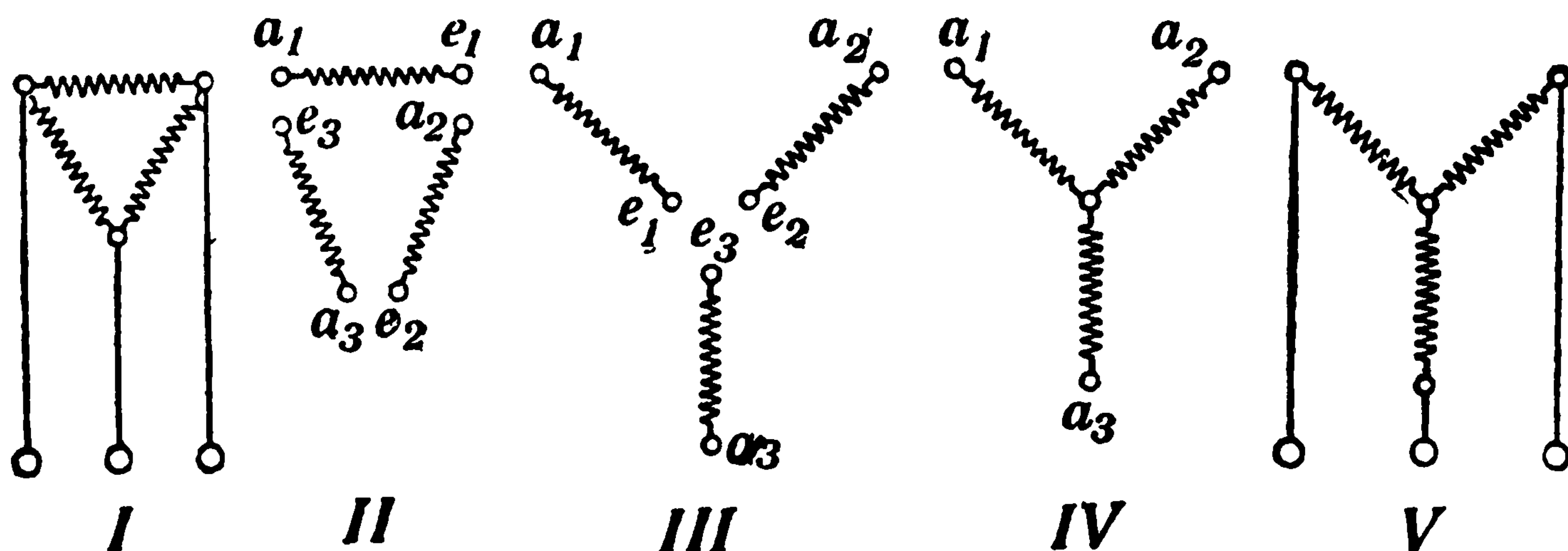


Рис. 34 Пересоединение с треугольника на звезду.

концы e_1, e_2, e_3 в узловой точке (фиг. III и IV) и соединить остающиеся свободными концы a_1, a_2, a_3 (фиг. IV) с зажимами.

Для пересоединения статора со звезды на треугольник (рис. 35), нужно обозначить зажимы через a_1, a_2, a_3 (фиг. I),

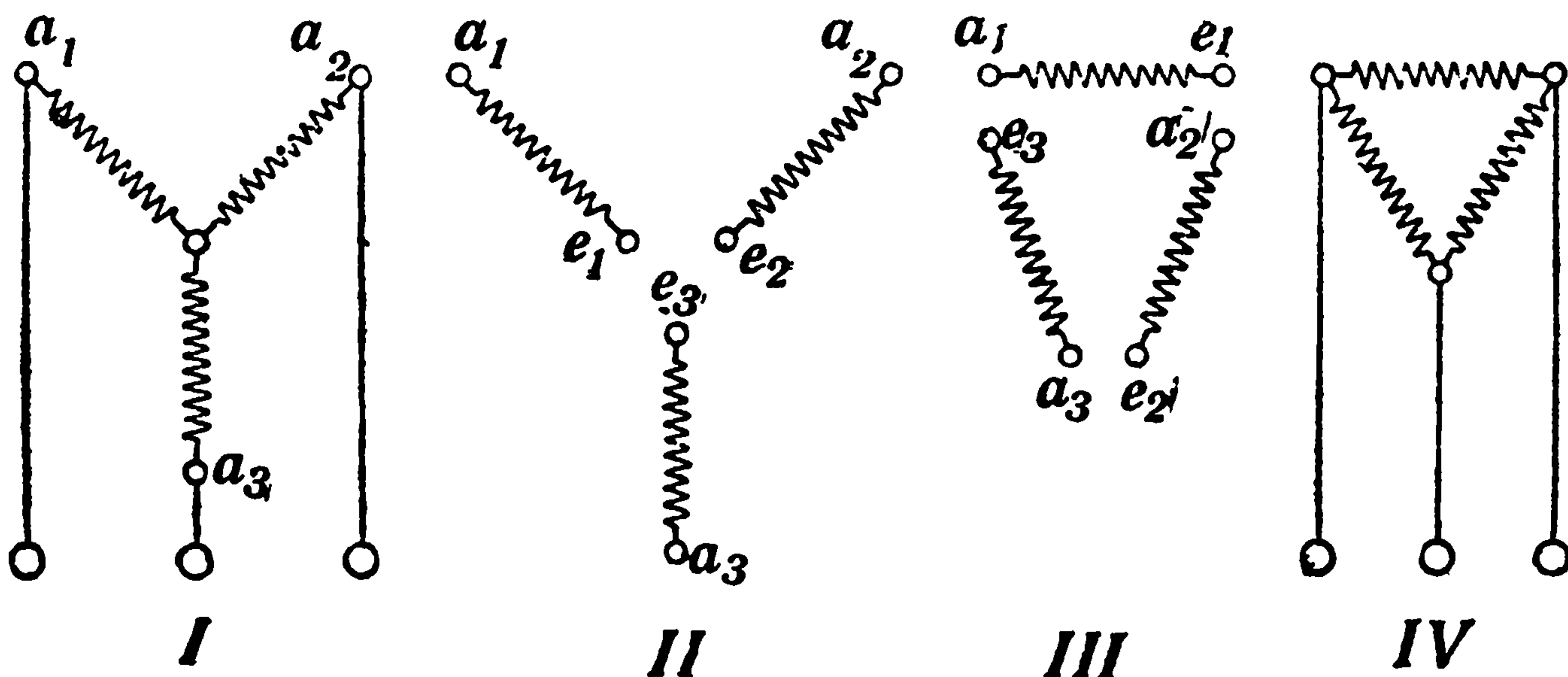


Рис. 35. Пересоединение со звезды на треугольник.

распаять узловую точку (центр звезды) и определить при помощи гальваноскопа концы обмоток e_1, e_2, e_3 , относящиеся к зажимам a_1, a_2, a_3 , (фиг. II); затем припаять e_1 к a_2, e_2

к a_3 и e_3 к a_1 (фиг. III) и соединить спаянные места с зажимами (фиг. IV).

Если к зажимной доске двигателя выведены все шесть концов трехфазной обмотки, то при пересоединениях нужно руководиться обозначениями зажимов и указаниями завода, поставившего машину. В виде примера ссылаемся на зажимную доску рис. 33 и на примечание стр. 100.

Наконец, в неисправностях 2а, 5а, 9б, 15а виновата влажность изоляции. Тогда двигатель нуждается в просушке. Всего проще, конечно, сушить его нагретым воздухом (см. стр. 63 п. 2).

Если в распоряжении есть постоянный ток слабого напряжения, то его можно пропускать через отдельные обмотки или через соединенные треугольником обмотки, как это указано на стр. 82.

Если же применить естественную сушку нельзя, а в распоряжении есть только переменный ток из сети, то нужно посредством надлежащего реостата (водяного, лампового и т. под.) значительно понизить его напряжение и либо, опять-таки, пропускать его по обмоткам как на стр. 82, либо поставить под это сильно пониженное напряжение всю статорную или всю роторную обмотку, а другую (всю роторную или всю статорную) замкнуть накоротко. Напомним по этому поводу, что асинхронный двигатель, это — в сущности, тот же трансформатор, только с замыкающимся через воздух магнитным потоком. Через какую бы его обмотку ни пропускать ток, через ротор ли или через статор, в другой обмотке ток возникнет по индукции и будет греть ее. Чтобы ротор при этом не пришел во вращение, его можно заклинить деревянными клиньями.

Г. МЕХАНИЧЕСКИЕ НЕИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.

Рассматривая электрические и магнитные неисправности электрических машин в первых трех частях этой книги (А, Б и В), мы многие из них поставили в связь с неисправностями механическими и уже познакомились с двумя главными признаками этих последних: с дрожанием корпуса машины и с чрезмерным нагреванием подшипников. Теперь нам предстоит восполнить перечень неисправностей, о которых свидетельствует каждый из этих признаков. Мы будем при этом кратки и не станем отделять их описание от распознавания, а распознавание — от устранения, потому что их происхождение и связь с тем или иным признаком весьма ясны, а распознавание чаще всего сводится к их устранению: если после устранения какого-нибудь недостатка признак неисправного состояния исчезает, значит, этот недостаток и был причиной неисправного состояния.

1. Дрожание корпуса машины.

1. Слабина фундаментных болтов — такова наиболее частая причина этого дрожания. Болты ослабевают просто от долгой работы. Их нужно от времени до времени подтягивать.

2. Чрезмерное натяжение ремня на шкиве изгибает вал, а поэтому вызывает дрожание машины.

Ремень нужно ослабить. Если он после этого станет скользить, то надо проверить передаточное число, то есть отношение диаметров ведущего и ведомого шкивов. Это отношение должно быть не больше 1:6. Если оно оказывается больше, то надо прибегнуть к натяжному ролику, или к зубчатой, или к промежуточной передаче.

Вал, уже изогнувшийся, лучше всего заменить новым — попытки выпрямить его обычно бесполезны, обточка помогает делу редко.

3. Недостаточная уравновешенность вращающихся частей — якоря, шкива, соединительной муфты и т. под. Это — ошибка завода-поставщика. Она может быть устранена только заводскими средствами. Предположить ее можно в том случае, когда машина продолжает дрожать несмотря на устранение неисправностей 1 и 2.

2. Чрезмерное нагревание подшипника.

Температура подшипника не должна превосходить 70° Ц.

Из числа неисправностей, вызывающих чрезмерное трение в подшипнике и превышение этой температуры, одни коренятся в самом подшипнике, и причина их — дурная его конструкция или дурной уход за ним, а другие объясняются причинами, лежащими вне подшипника. Мы займемся сначала последними.

Прежде всего, только-что указанная неисправность 2 — изгиб вала — вызывает не только дрожание машины, но и нагревание подшипника. Далее отметим:

4. Неисправное состояние шеек вала. Они могут быть изношены или исцарапаны. Тогда их нужно обточить и отшлифовать наждачной бумагой.

5. Несовпадение осей подшипников вследствие неточной установки. Эта ошибка может произойти преимущественно при трех стоячих подшипниках, когда один из них

установлен на отдельной фундаментной плите. Надо проверить и выравнять их установку, а вкладыши пришабрить.

Главные неисправности в самом подшипнике, таковы:

6. Смазка недостаточна потому что а) взят неподходящий сорт масла, б) масло засорено пылью, в) во вкладышах засорены или слишком узки канавки для смазки, г) смазочное кольцо погнулось и задевает стенки масляного резервуара или взято слишком легкое, а поэтому вращается слишком быстро и захватывает с собою слишком мало масла.

а) Хорошее машинное масло должно быть не слишком густо и вместе с тем достаточно вязко. Поэтому, например, трансформаторное масло не годится для подшипников — оно недостаточно вязко; не годится и цилиндрическое — оно слишком густо. Но постепенно густеет и делается смолистым всякое масло. Его нужно от времени до времени спускать и заменять свежим.

б) Когда масло спущено, необходимо промыть подшипник керосином, продолжая промывку до тех пор, пока не начнет выливаться совершенно чистый керосин. Только тогда можно налить свежего масла. Следует предохранить подшипник от попадания пыли, в случае надобности уплотнив его крышку.

в) Засоренные или слишком узкие канавки для смазки надо прочистить или увеличить.

г) Погнувшееся кольцо нужно выпрямить на станке, слишком легкое заменить более тяжелым.

7. Вкладыши неисправны, а именно а) сработались или б) слишком тесны для шеек вала или в) слишком туго затянуты на них или г) их поверхность исцарапана или засорена.

Устранение этих неисправностей самоочевидно.

Отдельно отметим, в заключение, одну случающуюся с подшипниками неисправность, которая не вызывает их нагревания, а именно:

8. Разбрызгивание масла. Если масло брызжет из смазочного отверстия, то а) либо масляный резервуар пе-

реполнен, б) либо между смазочным кольцом и стенками подшипника оставлен слишком большой зазор, в) либо смазочное кольцо слишком быстро вращается, тогда его надо признать слишком легким.

а) Масло нужно наливать в подшипник только до отметки на масломерном стекле, а если отметки нет, — до такой высоты, чтобы оно стояло, приблизительно, на 10 мм ниже смазочного отверстия. б) и в) Слишком узкое кольцо надо заменить более широким так, чтобы для „игры“ кольца

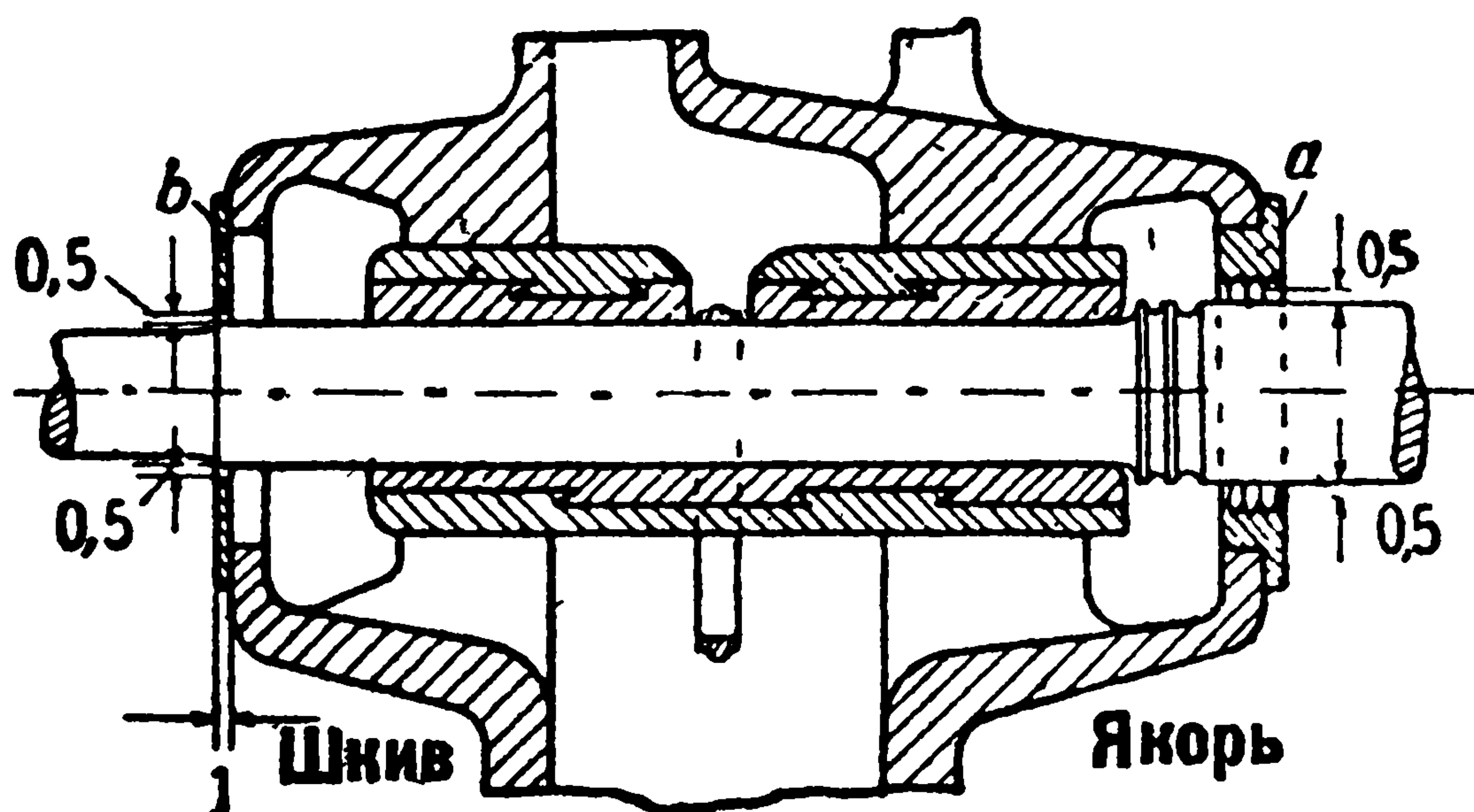


Рис. 36. Уплотнительное кольцо и шайба на подшипнике.

оставалось не больше 1 миллиметра, а слишком легкое кольцо — более тяжелым.

Если масло брызжет с лобовой стороны подшипника, то это значит, что его выдувает сильный ток воздуха, возникающий от вращения якоря или шкива. Воздух этот, пробиваясь через подшипник, увлекает за собою масло. Делу можно помочь, как показано на рис. 36, посредством уплотнительного кольца *a*, насаживаемого со стороны якоря, если масло выдувается в сторону якоря, или шайбы *b* толщиной около 0,5 мм, привинчиваемой со стороны шкива, если масло выдувается в сторону шкива.

ПЕРЕЧЕНЬ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН.

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Расположен. | Устранение |
|---|-----------------|---------------|----------|-------------|------------|
| | | | Стр | Стр | Стр |

А. Машины постоянного тока

| | | | | | |
|----|--------------------------------|--|----|----|----------|
| 1 | Щетки искрят | Поверхность щеток не в порядке | 8 | 37 | 58 и сл. |
| 2а | » | Поверхность коллектора шероховата . . | 8 | 38 | 58 „ „ |
| 2б | » | Поверхность коллектора волниста . . . | 8 | 38 | 58 „ „ |
| 2в | » | Над коллектором выступает слюда . | 8 | 38 | 58 „ „ |
| 3а | » | Коллектор загрязнен щетками | 9 | 38 | 58 „ „ |
| 3б | » | Коллектор загрязнен смазкой | 9 | 38 | 58 „ „ |
| 3в | » | Коллектор засорен . . | 9 | 38 | 58 „ „ |
| 3г | » | Коллектор разъеден кислотными парами | 9 | 38 | 58 „ „ |
| 4 | » | Щетки слабо прижаты | 9 | 38 | 58 „ „ |
| 5а | » | Коллектор дрожит заодно с машиной . . | 9 | 38 | 108 „ „ |
| 5б | » | Пластины коллектора расшатались . . . | 9 | 39 | — |
| 6а | » | Щетки дрожат заодно с машиной | 9 | 39 | 108 и сл |
| 6б | » | Расшатались части щеточного аппарата | 9 | 39 | — |
| 7а | » | Коллектор бьет заодно с якорем | 9 | 39 | — |
| 7б | » | Коллектор бьет сам по себе | 10 | 40 | — |
| 8 | Щетки искрят или якорь греется | Скорость машины повышена | 14 | 40 | — |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Распо- знаван. | Устра- нение |
|-----|--------------------------------|---|----------|-------------------|-----------------|
| | | | Стр | Стр. | Стр |
| 9а | Щетки искрят или якорь греется | Щеточное ярмо расположено неправильно | 14 | 40 | — |
| 9б | » | Отдельные щетки расположены неправильно | 14 | 40 | — |
| 10 | » | Якорь бьет | 15 | 41 | 108 и сл. |
| 11а | » | Короткое замыкание в магнитных катушках—вследствие повреждения изоляции | 15 | 42 | — |
| 11б | » | То же, что 11а, но вследствие влажности изоляции . . | 15 | 42 | 63 и сл. |
| 12 | » | Неправильное включение магнитных катушек | 15 | 43 | — |
| 13а | » | Короткое замыкание в якоре, вследствие повреждения изоляции в обмотке . . . | 16 | 45 | — |
| 13б | » | То же, что 13а, но вследствие влажности изоляции в обмотке | 16 | 45 | 63 и сл. |
| 14 | » | Ослабел контакт между якорными проводниками и коллектором | 17 | 48 | — |
| 15а | » | Разрыв в соединениях между якорными проводниками и коллектором | 17 | 48 | — |
| 15б | » | Разрыв в якорных проводниках | 17 | 48 | — |
| 16а | » | Машина перегружена умышленно | 17 | 49 | — |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Распо- знаван. | Устра- нение |
|-----|---------------------------------|--|----------|-------------------|-----------------|
| | | | Стр. | Стр | Стр |
| 16б | Щетки искрят или якорь греется. | Машина перегружена вследствие плохой изоляции в сети . | 17 | 49 | — |
| 16в | » | Машина перегружена вследствие чрезмерных трений | 17 | 49 | — |
| 17 | » | Напряжение понижено, а нагрузка не уменьшилась | 17 | 49 | — |
| 18 | Коллектор греется | Щетки слишком прижаты | 20 | 51 | 58 и сл. |
| 19 | Якорь греется | Скорость машины понижена | 20 | 51 | — |
| 20 | » | Параллельное вместо последовательного соединение катушек | 20 | 51 | — |
| 21а | Динамо не дает напряжения | Остаточный магнетизм уничтожен от толчков и сотрясений . | 23 | 52 | 65 и сл |
| 21б | » | То же, что 21а, но вследствие короткого замыкания в сети | 23 | 52 | 65 „ „ |
| 21в | » | То же что 21а, но вследствие случайного тока обратного направления | 23 | 52 | 65 „ „ |
| 21г | » | То же, что 21а. но вследствие неправильного включения цепи возбуждения | 23 | 52 | 65 „ „ |
| 21д | » | То же, что 21а, но вследствие вращения динамо в обратную сторону | 24 | 52 | 65 „ „ |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Расположен. | Устранение |
|-----|---|---|----------|-------------|------------|
| | | | Стр | Стр. | Стр |
| 22 | Динамо не дает напряжения или двигатель не вращается | Магнитные катушки неправильно соединены между собою | 25 | 52 | |
| 23 | Динамо не дает напряжения | Шунтовая машина вращается слишком медленно | 28 | 52 | |
| 24 | » | Сдвиг щеток на коллекторе слишком велик | 28 | 52 | — |
| 25a | Динамо не дает напряжения или двигатель не вращается | Шунтовый регулятор не выведен из цепи возбуждения или пусковой реостат не правильно включен | 29 | 52 | — |
| 25б | » | Ослаблен контакт щеток с коллектором (см. неисправности 1 — 7, особенно 2с) | 29 | 53 | 58 и сл |
| 26 | Динамо не дает напряжения. | Внешняя цепь замкнута на слишком слабое сопротивление | 29 | 53 | — |
| 27a | Динамо не дает напряжения или двигатель не вращается. | Повреждена изоляция обмоток в машине . | 30 | 55 | — |
| 27б | » | Отсырела изоляция обмоток в машине . | 31 | 55 | 63 и сл. |
| 28a | » | То же, что 13a. | 31 | 55 | 63 „ „ |
| 28б | » | То же, что 13б | 31 | 55 | — |
| 29 | » | Разрыв в якорной обмотке | 32 | 55 | — |
| 30 | » | Разрыв в цепи возбуждения | 32 | 55 | — |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Распознавание | Устранение |
|----|-------------------------|---|----------|---------------|------------|
| | | | Стр | Стр | Стр. |
| 31 | Двигатель не вращается. | Ток из сети не проникает в якорную обмотку | 35 | 56 | — |
| 32 | » | Ток из сети не проникает в шунтовую обмотку | 35 | 56 | — |
| 33 | » | Двигатель механически перегружен | 36 | 56 | — |

Б. Генераторы переменного тока.

| | | | | | |
|----|-----------------------------------|--|----|----|----|
| 1 | Напряжение альтернатора понижено. | Одна или несколько катушек статора неправильно включены | 71 | 77 | — |
| 2а | » | Короткое замыкание в статорной обмотке вследствие влажности изоляции . . | 72 | 77 | 82 |
| 2б | » | То же, что 2а, но вследствие повреждения изоляции | 72 | 77 | — |
| 3 | » | Разрыв одной из статорных обмоток . . | 72 | 78 | — |
| 4 | » | Одна или несколько магнитных катушек неправильно включены | 73 | 78 | — |
| 5а | » | Короткое замыкание в магнитных катушках вследствие влажности изоляции | 73 | 78 | 82 |
| 5б | » | То же, что 5а, но вследствие повреждения изоляции | 73 | 78 | — |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Распо- заван | Устра- нение |
|-----|---------------------------------|---|----------|-----------------|-----------------|
| | | | Стр. | Стр. | Стр. |
| 6 | Альтернатор не дает напряжения. | Разрыв в статорных обмотках | 74 | 79 | — |
| 7 | » | Короткое замыкание в цепи возбуждения | 74 | 79 | 82 |
| 8 | » | Разрыв в цепи возбуждения | 75 | 80 | — |
| 9 | Альтернатор чрезмерно греется. | Перегрузка обмоток током | 76 | 80 | — |
| 10а | Щетки искрят | Поверхность контактных колец или щеток неисправна . . | 76 | 81 | 83 |
| 10б | | Кольца или щетки загрязнены | 76 | 81 | 83 |
| 10в | » | Щетки плохо прижаты | 76 | 81 | 83 |
| 10г | » | Кольца или щетки дрожат | 76 | 81 | 83 |
| 10д | » | Кольца бьют | 76 | 81 | 83 |

В. Индукционные электродвигатели переменного тока.

| | | | | | |
|----|---|--|----|----|-----|
| 1а | Трехфазный электродвигатель развивает недостаточную мощность, однофазный отказывается работать. | Напряжение понижают неплотные контакты в зажимах питающих статор проводов или в местах соединения между статорными обмотками | 92 | 99 | 104 |
| 1б | Трехфазный электродвигатель развивает недостаточную мощность. | Статорные обмотки соединены звездой, а должны быть соединены треугольником | 92 | 99 | — |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Расположен. | Устранение |
|----|--|---|----------|-------------|------------|
| | | | Стр. | Стр. | Стр. |
| 1в | Однофазный электродвигатель отказывается работать, трехфазный развивает недостаточную мощность | Понизилось напряжение в сети | 92 | 99 | — |
| 2а | » | Короткое замыкание в одной из фазных обмоток статора или между ними вследствие влажности изоляции | 93 | 99 | 107 |
| 2б | » | То же, что 2а, но вследствие повреждения изоляции | 93 | 99 | — |
| 3 | » | Разрыв в одной из статорных обмоток или питающих статор проводов | 93 | 99 | |
| 4 | » | Междужелезное пространство неравномерно | 94 | 99 | 104 |
| 5а | » | Короткое замыкание в одной из фазных обмоток ротора или между ними вследствие влажности изоляции | 94 | 99 | 107 |
| 5б | » | То же, что 5а, но вследствие повреждения изоляции | 94 | 99 | — |
| 6а | » | Разрыв в одной из роторных обмоток . | 95 | 101 | — |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Распо- знаван. | Устра- нение |
|-----|---|---|----------|-------------------|-----------------|
| | | | Стр | Стр | Стр. |
| 6б | Однофазный электродвигатель отказывается работать, трехфазный развивает недостаточную мощность. | Разрыв в проводе между щеткой и реостатом или нарушение контакта между щеткой и кольцом . | 95 | 101 | — |
| 6в | » | Разрыв в реостате . . | 95 | 101 | — |
| 7а | » | Ослабление контакта в зажимах проводов между щетками и реостатом или между щетками и кольцами | 95 | 101 | 104 |
| 7б | » | Слишком малое сечение проводов между щетками и реостатом . | 95 | 101 | 104 |
| 8 | Трехфазный электродвигатель отказывается работать. | Разрыв в двух фазах статорной обмотки или в двух питающих ее проводах . | 96 | 101 | — |
| 9а | » | Полное короткое замыкание между двумя фазами статорной обмотки вследствие влажности изоляции | 96 | 101 | — |
| 9б | » | То же, что 9а, но вследствие повреждения изоляции | 96 | 101 | 107 |
| 10а | » | Разрыв в двух фазах роторной обмотки . | 96 | 101 | — |
| 10б | » | Разрыв в двух проводах между щетками и реостатом или нарушение контакта двух колец со щетками | 96 | 101 | — |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Распо- знаван. | Устра- нение |
|-----|---|--|----------|-------------------|-----------------|
| | | | Стр | Стр | Стр |
| 10в | Трехфазный электродвигатель отказывается работать | Разрыв в двух ветвях реостата | 96 | 101 | — |
| 11 | » | Начало и конец одной из фазных обмоток перепутаны | 97 | 102 | — |
| 12 | Трехфазный двигатель чрезмерно греется | Статорная обмотка соединена треугольником, а должна быть соединена звездю | 97 | 102 | — |
| 13 | » | Двигатель механически перегружен | 97 | 102 | — |
| 14 | Однофазный двигатель отказывается работать | Разрыв в цепи вспомогательной фазы . | 98 | 103 | — |
| 15а | » | Короткое замыкание во вспомогательной фазе или между нею и главной фазой вследствие влажности изоляции . . | 98 | 103 | 107 |
| 15б | » | То же, что 15а, но вследствие повреждения изоляции | 98 | 103 | — |

Г. Механические неисправности электрических машин.

| | | | | | |
|---|--------------------------|---|-----|---|---|
| 1 | Дрожание корпуса машины. | Слабина фундаментных болтов | 108 | — | — |
| 2 | » | Чрезмерное натяжение ремня на шкиве . . | 108 | — | — |
| 3 | » | Недостаточная уравновешенность вращающихся частей . | 109 | — | — |

| № | Главный признак | Неисправности | Описание | Распо- знаван. | Устра- нение |
|----|-----------------------------------|---|----------|-------------------|-----------------|
| | | | Стр | Стр | Стр. |
| 4 | Чрезмерное нагревание подшипника. | Неисправное состояние шеек вала | 109 | — | — |
| 5 | » | Несовпадение осей подшипников | 109 | — | — |
| 6 | » | Смазка недостаточна | 110 | — | — |
| 6а | » | Взят неподходящий сорт масла | 110 | — | — |
| 6б | » | Масло засорено пылью | 110 | — | — |
| 6в | » | Во вкладышах засорены или слишком узки канавки для смазки | 110 | — | — |
| 6г | » | Смазочное кольцо погнулось или слишком легкое | 110 | — | — |
| 7 | » | Вкладыши неисправны | 110 | — | — |
| 7а | » | » сработались | 110 | — | — |
| 7б | » | » слишком тесны для шеек вала | 110 | — | — |
| 7в | » | » слишком туго затянуты | 110 | — | — |
| 7г | » | Поверхность вкладышей исцарапана или засорена . . . | 110 | — | — |
| 8 | » | Разбрызгивание масла | 111 | — | — |
| 8а | » | Масляный резервуар переполнен | 111 | — | — |
| 8б | » | Между смазочным кольцом и стенками подшипника слишком большой зазор | 111 | — | — |
| 8в | » | Смазочн. кольцо слишком быстро вращается, т. е. слишком легкое | 111 | — | — |

ОГЛАВЛЕНИЕ.

| | Стр |
|---|-----|
| Введение | 3 |
| А. Машины постоянного тока. | |
| Глава I. Описание неисправностей | 6 |
| 1. Искрение щеток | — |
| Неисправности, вызывающие искрение вследствие ослабления контакта (7) Неисправности, вызывающие искрение вследствие усиления тока (10). | |
| 2. Чрезмерное нагревание | 18 |
| Нагревание коллектора (19). Нагревание якоря (20). Нагревание магнитных катушек. (21). | |
| 3. Бессилие машины | 21 |
| Динамомашинa не дает напряжения (22). Электро-двигатель не приходит во вращение. (32). | |
| Глава II. Распознавание неисправностей | 36 |
| 1. Искрение щеток | 37 |
| 2. Чрезмерное нагревание. | 50 |
| 3. Бессилие машины | 52 |
| Глава III. Устранение неисправностей | 56 |
| 1. Уход за щетками и коллектором. | 58 |
| 2. Просушка машины : | 63 |
| 3. Восстановление остаточного магнетизма. | 65 |
| Б. Генераторы переменного тока (однофазные и трехфазные альтернаторы). | |
| Глава I. Описание неисправностей | 68 |
| 1. Напряжение альтернатора понижено. | — |
| 2. Альтернатор не дает напряжения. | 74 |